

Informatische Modellbildung

Modellieren von Modellen als ein zentrales Element der Informatik
für den allgemeinbildenden Schulunterricht

DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
DER NATURWISSENSCHAFTEN

VORGELEGT DER
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT
DER

UNIVERSITÄT POTSDAM

VON
MARCO THOMAS
AUS DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

BEGUTACHTET VON DEN HERREN

PROF. DR. A. SCHWILL

PROF. DR. S. FRIEDRICH

PROF. DR. P. HUBWIESER

Zusammenfassung

Die Betrachtung zahlreicher fachdidaktischer Arbeiten und fachcurricularer Schriften führt zu der Feststellung, dass zwar die Bedeutung informatischer Modelle und informatischer Modellierung häufig betont wird, dass aber andererseits kein Konsens besteht, was unter diesen Begriffen zu verstehen ist. Diese Diskrepanz wird als eine Ursache für die unterschiedlichen Positionen zu den Inhalten eines Informatikunterrichts gedeutet. Es wird als ein Problem erkannt, dass eine ausreichende Legitimierung der in der Fachdidaktik postulierten Leitlinie „Informatische Modellierung“ im Rahmen einer Allgemeinbildung fehlt. Die Suche nach Antworten zu drei resultierenden fachdidaktischen Fragestellungen führt zu Ergebnissen, die eine Leitlinie „Informatische Modellbildung“ für den Informatikunterricht absichern und einen Beitrag zur Optimierung des Informatikunterrichts liefern.

Zur Präzisierung eines informatischen Modellbegriffs wird das Begriffsverständnis in der Wissenschaft Informatik analysiert. Unter Verwendung der Allgemeinen Modelltheorie von Stachowiak und anderen Klassifikationsansätzen wird gezeigt, dass das Modellieren von Modellen ein zentrales Element der Informatik ist. Nahezu alle Modelltypen des Modellierens im Allgemeinen lassen sich in der Informatik nachweisen. Diesen Modelltypen werden in Systematiken informatische Modellen zugeordnet. Es wird festgestellt, dass die unterschiedlichen Modelltypen in der Informatik häufig gezielt miteinander zu Modellketten verknüpft werden. Der fachsprachliche Gebrauch des Modellbegriffs erfolgt in der Kerninformatik vorwiegend für semantische und graphische Modelltypen. Diese lassen sich unter fünf Hauptmodelltypen zusammenfassen: Architektur-, Vorgehens-, Entwurfs-, Untersuchungsmodelle und mentale Modelle. Die Analyse der Fachsprache zeigt auch, dass der Begriff „Modell“ im konkreten Unterricht nur zwingend verwendet werden sollte, wenn dies der Bewusstmachung des Modellbildungsprozesses dienlich ist.

Das Modellieren von Modellen erweist sich als eine kulturell-tradierte und allgemeinbildungsrelevante Tätigkeit des Menschen. Informatische Modelle können stellvertretend für Modelle und Modellieren im Allgemeinen stehen und werden damit zu einem Bildungsgut. Die produktorientierte Auseinandersetzung in der Informatik mit der Automatisierung von informationsverarbeitenden Prozessen bietet einen hervorragenden Kontext zur Enkulturation des Modellierens von Modellen. Hierbei können mentale Modelle, die grundlegend für das Verständnis von Informatiksystemen sind, durch Exploration aufgebaut werden.

Der besondere Beitrag der Informatik für die Schulausbildung liegt hinsichtlich der Modellbildung in der umfassenden Vielfalt informatischer Modelle, die in einem Informatikunterricht – im Kontext der Informationsverarbeitung – zu einer Enkulturation eines allgemeinen Modellbegriffs führen kann. Die Systematiken, denen informatische Modelle zugeordnet wurden, können eingesetzt werden, um für den Informatikunterricht abzusichern, dass den Schülern ein vollständiges Bild zu den Fragestellungen und Methoden der Informatik vermittelt wird.

Die Leitlinie „Informatische Modellbildung“ erweist sich zur Enkulturation des Modellierens von Modellen für einen Informatikunterricht als geeignet und legitimiert den Informatikunterricht für den allgemeinbildenden Schulkanon.

Die Ergebnisse dieser Arbeit bilden eine Basis, aus der sich zahlreiche Forschungsaufgaben für die Fachdidaktik der Informatik ergeben.

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
VORWORT	V

I BEDEUTUNG DER MODELLBILDUNG IM INFORMATIKUNTERRICHT BIS HEUTE	1
1. Einzug der Informatik in die allgemeinbildenden Schulen	2
2. Merkmale einer Allgemeinbildung	3
3. Ansätze zur Integration einer Informatischen Bildung in die Schule	6
4. Der Modellbegriff in fachdidaktischen Ansätzen und Empfehlungen	9
5. Der Modellbegriff in deutschen Informatik - Lehrplänen	13
Zusammenfassung	20
II MODELLIEREN VON MODELEN – EINE MENSCHLICHE TÄTIGKEIT	22
1. Wortgeschichtlicher Überblick	22
2. Modellieren – eine Kulturtechnik	23
3. Allgemeine Modelltheorie	25
3.1 Was ist ein Modell?	26
3.2 Die Elemente im Modellbildungsprozess	28
3.3 Modellklassifikationen	30
4. Modelle im Geiste – immaterielle Modelle	33
Zusammenfassung	35
III DER MODELLBEGRIFF IN DER FACHWISSENSCHAFT INFORMATIK	37
1. Informationsverarbeitung mit Modellen in der Informatik	37
1.1 Informatik im Wissenschaftskanon	38
1.2 Konstruktivistische Modellbildung	40
1.3 Modellvorstellungen	43
2. Modelle in der Fachsprache der Informatik	45
2.1 Methodisches Vorgehen	45
2.2 Auswertung – Allgemeiner Teil	48
2.3 Die Modellbegriffe im Detail	49
3. Vielfalt der Modelle in der Informatik	59
3.1 Graphische Modelle in der Informatik	59
3.2 Technische Modelle in der Informatik	61
3.3 Semantische Modelle in der Informatik	61
3.4 Zum Zweck informatischer Modellbildung	64
Zusammenfassung	65

IV KONSEQUENZEN FÜR EINEN INFORMATIKUNTERRICHT	67
1. Informatische Modelle als Bildungsgut	67
2. Themen für die Unterrichtspraxis	71
3. Gedanken zur Unterrichtsmethodik	74
4. Anmerkungen zur Fachsprache im Informatikunterricht	76
Zusammenfassung	76
RÜCKBLICK UND AUSBLICK	78
LITERATUR	84
ANHANG	95
A. Skriptnachweis	95
B. Übersicht zu den gefundenen Modellbegriffen	98

Abkürzungsverzeichnis

AMT	Allgemeine Modelltheorie (nach Stachowiak)
a.	auch
BLK	Bund-Länder-Kommission
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
ebd.	ebenda
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
GI	Gesellschaft für Informatik e.V.
i.d.R.	in der Regel
IT	Informationstechnologie
ITG	Informationstechnische Grundbildung
Kap.	Kapitel
s.	siehe
S.	Seite(n)
SI	Sekundarstufe I
SII	Sekundarstufe II
u.a.	und andere
u.ä.	und ähnliche
u.v.m.	und viele mehr
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
Wpfl.	Wahlpflichtfach
z.B.	zum Beispiel

Vorwort

Nahezu zeitgleich mit dem Einzug der Informatik in die deutsche Hochschullandschaft wurden Anstrengungen unternommen, ein Fach „Informatik“ in das allgemeinbildende Schulwesen zu integrieren. Ausgangspunkt ist zunächst die Erkenntnis auf Bundesebene gewesen, dass Informationstechnik, als Produkt der Informatik, unsere Gesellschaft massiv verändert und damit informatische Kenntnisse für eine Schulbildung relevant sind.

Erst in den folgenden Jahren und Jahrzehnten folgten Ansätze zur Didaktik und Methodik eines Schulunterrichts, die eine informatische Bildung im Rahmen einer Allgemeinbildung aufzubauen versuchten. Methodische Fragestellungen wurden zumeist von engagierten Informatiklehrerinnen und -lehrern untersucht. Bildungsinhalte wurden allerdings eher postuliert als legitimiert. Die Dynamik der Wissenschaft Informatik erschwerte zusätzlich die Bestimmung geeigneter Inhalte und Gegenstände, so dass sich derzeit der Informatikunterricht i.d.R. an den aktuellen Trends der Informationstechnik orientiert und meistens eher einer Produkt- oder Programmiersprachenschulung ähnelt als einem Schulfach mit allgemeinbildenden Charakter. Mühselig hat sich eine Fachdidaktik der Informatik zu etablieren begonnen, die mit dem Nachweis der längerfristig gültigen Bildungsinhalte den Informatikunterricht didaktisch begründet.

Während des Referendariats in Nordrhein-Westfalen bin ich im Rahmen der zweiten Examensarbeit mit einem Lehrplan konfrontiert worden, der den Modellbegriff stark auf die Modellbildung und Simulation von fachfremden Modelle beschränkte. Erst später stellte ich diesen Modellbegriff stärker in Frage, da den Schülern auf diese Weise nur ein sehr begrenztes Bild der Informatik als anwendungsorientierte Hilfswissenschaft vermittelt wurde. Lehrpläne, Curricula oder Rahmenlehrpläne zum Informatikunterricht betonen mittlerweile zunehmend den Begriff der „Informatischen Modellierung“, der sich auch als Leitlinie in Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) u.a. fachdidaktischen Schriften findet.

Es ist nachweisbar, dass Modelle in der Informatik einen zentralen Stellenwert haben und dass sich das Modellieren von Modellen in der Informatik in sehr umfassender Weise wiederfindet. Die Vielfalt an Modellen kann dem Informatikunterricht in einer Leitlinie „Informatische Modellbildung“ eine allgemeinbildende Relevanz geben, da das Modellieren von Modellen mit unserem Menschsein verknüpft ist. Ohne ein Operieren mit und auf Modellen ist der Mensch nur begrenzt handlungsfähig.

Sicherlich arbeiten auch andere Fächer mit Modellen. Dies ergibt sich aus der allgegenwärtigen Verankerung von Modellen in unserer Kultur. In der Informatik scheinen jedoch nahezu alle Modelltypen, die wir Menschen einsetzen, verwendet zu werden. Die Ursache liegt vermutlich darin, dass der Mensch Modelle zur Unterstützung seiner Informationsverarbeitung einsetzt. Letzteres ist jedoch Gegenstand der Informatik. Es ist daher zu erwarten, dass in einem Informatikunterricht das Wesen des allgemeinen Modellierens von Modellen als Kulturtechnik und das Wesen der Wissenschaft Informatik durch eine Orientierung an informatischen Modellen sehr gut erfasst werden kann.

Grundlage dieser Arbeit sind Modellbegriffe, wie sie im Informatikunterricht, in der Informatik und im Alltag vorkommen oder verwendet wurden. Im ersten Kapitel wird im Kontext der Entwicklung des Informatikunterrichts in Deutschland die derzeitige Bedeutung „des“ Modellbegriffs in fachdidaktischen Ansätzen und der fachcurricularen Literatur aufgezeigt, um den fehlenden Konsens zu einer informatischen Modellbildung im allgemeinbildenden Schulsystem zu problematisieren. Zur Schaffung einer Argumentationsgrundlage wird die kulturelle Verankerung des Umgangs mit Modellen als menschliche Tätigkeit im zweiten Kapitel herausgestellt und es werden Merkmale eines allgemeinen Modellbegriffs zusammengestellt. Diese Merkmale werden im dritten Kapitel auf die Informatik angewandt, um das Begriffsverständnis zum Modell herauszuarbeiten und um den zentralen Stellenwert des Modellierens von Modellen in der Informatik nachzuweisen. Dabei werden insbesondere mentale Modelle berücksichtigt, denen vor

allen für die Softwaretechnik eine grosse Bedeutung zukommt. Die Vielfalt der Modelle in der Informatik wird ebenso deutlich wie der konstruktive Umgang mit Modellen. Im vierten Kapitel verwenden wir die Erkenntnisse zum kulturell-tradierten Modellieren im Allgemeinen und zu den Modellen in der Informatik, um eine Leitlinie „Informatische Modellbildung“ für eine Allgemeinbildung zu begründen, die unter Berücksichtigung der Vielfalt informatischer Modelle einen entscheidenden Beitrag zur Enkulturation des Modellierens von Modellen in den Schulen leisten kann. Anschließend folgern wir notwendige Konsequenzen zur Gestaltung eines zukünftigen Informatikunterrichts und zeigen ansatzweise auf, wie unsere Erkenntnisse den Informatikunterricht optimieren können.

In dieser Arbeit gilt es zahlreiche Aspekte aus der Psychologie, der Pädagogik, der Allgemeinen Didaktik und der Informatik zu berücksichtigen, um den allgemeinbildenden Auftrag eines Informatikunterrichts hinsichtlich dem Modellieren von Modellen zu analysieren. Insofern ist diese Arbeit nur der Anfang von notwendigen didaktisch-methodischen Forschungen zum Modellieren von informatischen Modellen.

Die Arbeit entstand unter Betreuung der Professoren A. Schwill, S. Friedrich und P. Hubwieser, für die ich mich herzlich bedanken möchte. Ihre Anregungen haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Die Gemeinde der Fachdidaktiker in der Informatik ist noch nicht sehr gross, daher danke ich besonders denjenigen, die mir mit kleineren und größeren Hinweisen zu Einsichten verholfen haben.

Potsdam, den 27.07.2002

I Bedeutung der Modellbildung im Informatikunterricht bis heute

*„Wenn es im Jahre 1879 schon Computer gegeben hätte,
würden diese vorausgesagt haben,
daß man infolge der Zunahme von Pferdewagen
im Jahre 1979 im Pferdemist ersticken würde.“*

John C. Edwards, brit. Zukunftsforscher

*„Das Übel kommt nicht von der Technik,
sondern von denen,
die sie mißbrauchen –
mutwillig oder auch nur fahrlässig.“*

Jacques Yves Cousteau, frz. Meeresforscher

Seit der Erfindung des Computers in den 30iger und 40iger Jahren des 20igsten Jahrhunderts durch Arbeiten von Konrad Zuse (Deutschland, ab ca. 1936), Howard Aiken (USA, ab ca. 1939) u.a. baut der Mensch Maschinen, die nicht nur Materie und Energie automatisiert verarbeiten, sondern eine Informationsverarbeitung durchführen, wie es bisher nur dem Menschen vorbehalten war. Die Produkte und die Denkweisen der Informatik haben inzwischen in allen Gebieten der Wissenschaft, der Wirtschaft und der Technik Eingang gefunden. Die Industriegesellschaft befindet sich auf dem Weg zu einer Informationsgesellschaft mit gravierenden Veränderungen im Wirtschafts- und im Alltagsleben.

Diese Veränderungen konnten und können für das Bildungswesen nicht folgenlos bleiben. Vergleichbar mit der Etablierung der naturwissenschaftlichen Fächer Physik, Biologie und Chemie an den Bildungsinstituten – als Folge der starken Prägung des gesellschaftlichen und individuellen Lebens durch die Naturwissenschaft und Technik im 19. Jahrhundert – hat auch die Informatik und Informationstechnik begonnen, sich auf das Bildungswesen auszuwirken. In den letzten Jahrzehnten hat vermutlich kein Gebiet so rasch Eingang in die Schulen und Hochschulen Deutschlands gefunden. Die neuen IT-Berufe und der Mangel an qualifizierten Fachkräften erhöhen nicht nur den Ausbildungsbedarf an den Hoch- und Berufsschulen, sondern verstärken die Notwendigkeit nach einer neuen, zusätzlichen Sichtweise innerhalb der Allgemeinbildung: einer informatischen Bildung. Nicht zuletzt die Eltern von Schülern und die Wirtschaft fordern eine entsprechende Ausbildung an den allgemeinbildenden Schulen.

Andererseits herrscht eine beträchtliche Unsicherheit über die didaktischen und methodischen Zielsetzungen zur Ausbildung informatischer Kenntnisse und Fähigkeiten. Während anfangs vor allem Rechnersysteme zu den Gegenständen der Informatik und des Informatikunterrichts zählten, spricht man heute mittlerweile von "Informatiksystemen" (vgl. [Schul93]). Dieser Begriff umfasst nicht nur die Hardware und die Software, sondern alle durch die Einbettung des Systems in einen Anwendungsbereich bedingten Fragestellungen. Hierzu gehören Fragen zur Gestaltung des Systems, der Qualifizierung der Nutzer, der Sicherheit sowie eine Folgenabschätzung. Die

zugehörige Wissenschaft von dem Entwurf und der Gestaltung von Informatiksystemen ist die Informatik¹.

In diesem ersten Kapitel wird eine didaktisch-methodische Auseinandersetzung mit einem Modellbegriff der Informatik und dessen potentiell allgemeinbildenden Charakter motiviert, indem Auswirkungen der gesellschaftlichen Integration informatischer Ergebnisse und Erkenntnisse auf unser Bildungssystem betrachtet werden. Die Verwendung des Modellbegriffs in fachdidaktischer und schulcurricularer Literatur wird dargestellt, um die derzeitige Bedeutung von Modellen für einen Informatikunterricht aufzuzeigen.

1. Einzug der Informatik in die allgemeinbildenden Schulen

Ende der 60iger Jahre wurde in Deutschland erstmals der Aufbau von Informatik-Studiengängen vorbereitet, womit die Informatik als Fachwissenschaft ihren Einzug in die deutsche Bildungslandschaft feierte. Während sich in den USA bereits ab 1960 Studiengänge mit den Bezeichnungen "Computer Engineering", "Computer Science" und "Information Science" etablierten, orientierte man sich im deutschen Sprachraum rasch an dem französischen Wort "informatique"². Allerdings wurden zum Kern der westdeutschen Informatik zunächst die meist maschinenorientierten Inhalte sowie die zugehörigen mathematischen Grundlagen der amerikanischen Studiengänge "Computer Science" und "Computer Engineering" gezählt, während die Académie Française eine weitaus umfassendere, am Begriff der Information orientierte Definition zugrunde legte:

L'informatique: "Science de traitement rationel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances humaine et des communications, dans les domaines techniques, économiques et sociale." (aus [Coy01], S. 4)

In der Deutschen Demokratischen Republik wurde unter dem Begriff "Informatik" auch eine Wissenschaft verstanden, die sich mit Information, Informationstätigkeit, Informationsnutzern usw. auseinandersetzte. Dies entsprach annähernd den Inhalten eines dritten amerikanischen Studiengangs "Information Science", der in England als "informatics" bezeichnet wurde. Letztendlich existiert bis heute keine allgemein anerkannte Definition zum Wesen der Wissenschaft Informatik (vgl. III 1.1).

Der zunehmende Einfluss der EDV- und IT-Systeme auf die Gesellschaft führte in Deutschland, nahezu zeitgleich mit der Einführung der Informatik-Studiengänge, zu ersten Modellversuchen in allgemeinbildenden Schulen, um eine "informatische Bildung" (vgl. I 3.) zu integrieren. Schulversuche für ein Fach "Rechnerkunde" starteten in den süddeutschen Ländern bereits 1965. In Nordrhein-Westfalen wurden 1969 erstmals offizielle Maßnahmen zur Integration eines Schulfachs Informatik eingeleitet und mit den Vereinbarungen zur Neugestaltung der Gymnasialen Oberstufe legten die Kultusminister der Länder 1972 den Grundstein für ein eigenständiges Schulfach Informatik in den allgemeinbildenden Schulen ([KMK72], S. 9). Parallel erschienen die ersten Lehrplanentwürfe, die zunächst einem hardware-orientierten Ansatz folgten. Der Anstoss von Fachvertretern der Kybernetik für ein Schulfach, das informatische Inhalte im weitesten Sinne

¹ P. Bartke und C. Maurer ([Bar01]) kritisieren die Verwendung des von der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) geprägten Begriffs „Informatiksystem“, da er sich, aufgrund seiner „verwaschenen, je nach Kontext beliebig interpretierbaren Semantik“, nicht für die Beschreibung von Zielen und Inhalten des Informatikunterrichts eignen würde. Da sowohl die Gesellschaft für Informatik e.V. als auch der Informatikduden den Begriff definieren und verwenden, und auch andere Wissenschaften keine präzisen Definitionen zu ihren Gegenständen angeben können, halten wir die Kritik für nicht gerechtfertigt.

² Der Ausdruck geht auf Philippe Dreyfus und Karl Steinbuch zurück, die das Kunstwort Anfang der 60iger Jahre aus den Worten „Information“ und „Automatik“ bzw. den französischen Entsprechungen bildeten.

berücksichtigt³, war zu diesem Zeitpunkt zu visionär, obwohl dieses vermutlich eher der französischen Definition von "informatique" gerecht geworden wäre. Es folgten Phasen, die die Algorithmik und Programmierung als zentrale Inhalte hervorhoben, sowie Ansätze, die verstärkt Anwendungen in den Blickpunkt rückten: im Sinne einer Software-Entwicklung, der Benutzung von vorhandener Software, der Modellierung von Wirklichkeit u.a..

Mit den anwendungsorientierten Ansätzen rückten die Begriffe des "Modells", des "Modellierens" und der "Modellbildung" in den Vordergrund, wobei je nach Autor unterschiedliche Begriffe und Begriffsverständnisse zu finden sind: Modellierung von (gesellschaftlicher) Wirklichkeit in Algorithmen und Datenstrukturen, Modellierung von informationellen Prozessen aus Natur, Gesellschaft und Umwelt, Modellbildung und Simulation, Modellierungstechniken in der Softwareentwicklung und andere. Es wurde häufig versucht, den Modellbegriff des jeweiligen Ansatzes über Lehrpläne im Informatikunterricht zu verankern, wobei stets die Bedeutung der Informatischen Modellbildung betont wurde. Jedoch scheint kein Konsens darüber zu bestehen, was unter dem Begriff "Informatische Modellbildung" bzw. "Informatische Modellierung" zu verstehen ist, und was informatische Modelle sind. Dieser ungeklärte, nicht präzierte Stellenwert einer informatischen Modellbildung für die Allgemeinbildung der Schüler ist vermutlich eine Ursache dafür, dass eine Umsetzung der anwendungsorientierten Ansätze in der unterrichtlichen Praxis meist bei der Algorithmik stecken blieb.

2. Merkmale einer Allgemeinbildung

In jeder Gesellschaft gibt es bestimmte Vorstellungen vom Sinn und Zweck einer Schulausbildung. Der gesetzliche Auftrag im deutschen Schulsystem enthält im Allgemeinen drei Zielsetzungen:

- Ausbildung von Allgemeinbildung,
- Allgemeine Vorbereitung auf die Berufswelt,
- Vermittlung einer Allgemeinen Studierfähigkeit.

Je nach Schultyp sind diese Zielsetzungen unterschiedlich stark ausgeprägt. So beschränkt sich das Ziel der Vermittlung einer allgemeinen Studierfähigkeit i.d.R. auf die (gymnasiale) Oberstufe. Die beiden letztgenannten Ziele werden vor allem durch Anforderungen der Wirtschaft und der Universitäten bedingt, während der Begriff der "Allgemeinbildung" weitaus schwieriger zu fassen ist.

Im Zentrum des Bildungsbegriffs steht der Mensch als Individuum, das sich mit seiner Umwelt auseinandersetzt und sich durch diese individuelle Tätigkeit zu einer eigenständigen Persönlichkeit entwickelt. Es ist ein Verdienst von Wolfgang Klafki, darauf hinzuweisen, dass die Ausbildung von "inneren Kräften" (Haltungen, Werte, Kompetenzen) und die Aneignung von kulturellen Inhalten im Bildungsprozess interdependent erfolgt ([Kla74], S. 27ff), d.h. dass sich Bildung weder auf die Aneignung von Wissen reduzieren lässt noch Kompetenzen ohne Inhalte erwerbbar sind. Die Schule muss Bedingungen schaffen, die die Schüler zur Ausübung von bildenden Tätigkeiten anhand von Kulturgütern motiviert. Die Erschließung von Kulturgütern und deren Sinnstruktur (z.B. Kommunikation, Freiheit, Gerechtigkeit) bildet den Menschen zu einer unverwechselbaren, durch prinzipiengeleitete Persönlichkeit. In diesem Bildungsprozess erwirbt der Mensch die Fähigkeit, an Inhalte gebundene Aussagen zu prüfen und begründet zu treffen.

³ Der Kybernetiker Helmar Frank nennt fünf Gesichtspunkte zur Auseinandersetzung mit dem Phänomen „Rechner“: philosophische, algorithmentheoretische, ingenieurkybernetische, forschungsorganisatorisch-wissenschaftliche und wirtschaftswissenschaftlich-soziologische. Den zweiten Aspekt bezeichnet er als den wichtigsten für einen Rechnerkunde-Unterricht ([Fra72], S. 13f).

Zur Präzisierung des Begriffs "Kulturgut" möge das folgende Zitat des amerikanischen Kulturanthropologen Werner Loch ausreichen:

"Als Lebensform des Menschen enthält die Kultur alle Gebilde, durch deren Benutzung und Verlebendigung der Mensch sein Leben realisiert. Zur Kultur gehören: die Sprache mit ihren Begriffen und Bedeutungen, die dem Menschen sich selbst und seine Welt verständlich, seine Wahrnehmungen und Gedanken sich selbst und den Mitmenschen mitteilbar machen und eine sinnvolle Weltansicht und 'Matrize' des Lebens entwerfen; ... die Arbeits- und Wirtschaftsformen mit ihren Werkzeugen, Produktions- und Verwaltungstechniken und -praktiken, durch die der Mensch seine 'Lebensmittel' im weitesten Sinne herstellt und rational verwaltet; die Technik überhaupt als Inbegriff aller Werkzeuge, Maschinen und Automaten, die er sich als 'Organe' der Selbsterhaltung geschaffen hat, weil sein biologischer Organismus nicht dazu ausreicht und künstlicher Gebilde zur Ergänzung und Erweiterung, zur Entlastung und zum Ersatz seiner natürlichen Organe bedarf;" ([Loc69], S. 127).

Kulturgüter werden zu Bildungsgütern, wenn sie exemplarisch für das Allgemeine stehen, d.h. einen strukturierten Sachzusammenhang stellvertretend repräsentieren. Von Bildungsgütern wird erwartet, dass sie bei den Schülern intendierte Bildungsprozesse auslösen. Klafki nennt sieben Erscheinungsformen, in denen sich Kulturgut als Bildungsgut offenbaren kann ([Kla74], S. 119ff):

- das Fundamentale,
- das Exemplarische,
- das Typische,
- das Klassische,
- das Repräsentative,
- die einfachen Zweckformen und
- die einfachen ästhetischen Formen.

Basierend auf diesen Überlegungen entwickelte Klafki die "Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung", zur Bestimmung des Bildungsgutes. Diese werden wir im Kapitel IV anwenden.

Mit Beginn einer erneuten erziehungswissenschaftlichen Diskussion in den 60er Jahren, in der sich zahlreiche didaktische Formen entwickelten, hat Klafki seinen bildungstheoretischen Ansatz im Rahmen einer kritisch-konstruktiven Didaktik weiterentwickelt ([Kla91]). Allgemeinbildung erfüllt sich nun in der selbstbestimmten Entfaltung (gesellschaftlicher) Mitbestimmungsfähigkeit des Individuums in moralischer, kognitiver, ästhetischer und praktischer Dimension (vgl. [Kro94], S. 131). Als ein Schlüsselproblem, neben der Friedensfrage, der Umweltfrage, der gesellschaftlich produzierten Ungleichheit und der Ich-Du-Beziehung, nennt Klafki im Sinne einer Technikfolgenabschätzung:

"Ein viertes Schlüsselproblem sind die Gefahren und die Möglichkeiten der neuen technischen Steuerungs-, Informations- und Kommunikationsmedien im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Produktionssystems, der Arbeitsteilung oder aber ihrer schrittweisen Zurücknahme, der möglichen Vernichtung von Arbeitsplätzen durch eine ausschließlich ökonomisch-technisch verstandene 'Rationalisierung', der Folgen für veränderte Anforderungen an Basis- und Schlüsselqualifikationen, für die Veränderung des Freizeitbereichs und der zwischenmenschlichen Kommunikationsbeziehungen." ([Kla91], S. 59-60).

Im Kontext dieser Schlüsselprobleme sind die menschlichen Interessen und Fähigkeiten zu entwickeln. Zu der weiterentwickelten Bildungstheorie erstellte Klafki ein "(Vorläufiges) Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung".

Obwohl in dem erweiterten Ansatz Klafkis die kulturellen Gegebenheiten zugunsten von menschlichen Wertvorstellungen an Bedeutung verlieren, wird die Suche nach Kultur- und

Bildungsgut keinesfalls obsolet, da der Aufbau und die Aneignung von Werten eine Auseinandersetzung mit Kulturgegenständen, in denen und mit denen Werte und Haltung ausgedrückt werden, erforderlich macht. So ist der Informatik nach Engbring ([Eng99], S. 31f) ein "kulturtechnischer Charakter" zuzusprechen, dessen Elemente Teil einer Allgemeinbildung sind. Auch für eine Auseinandersetzung mit Denkmodellen wie einer "Maschinisierung des Geistes" o.ä. muss ein fachliches, informatisches Verständnis vorhanden sein.

In der Didaktik der Informatik wird zur Begründung eines allgemeinbildenden Beitrags des Informatikunterrichts neben den Ansätzen von Klafki häufig der Allgemeinbildungsbegriff zitiert, den Bussmann und Heymann in ihrem Artikel "Computer und Allgemeinbildung" ([Hey87]) entwickelten. Bussmann und Heymann beschreiben Allgemeinbildung, indem sie sechs Aufgaben der Schule hinsichtlich der Allgemeinbildung nennen, die allerdings stets in einem komplexen Wirkungszusammenhang zu sehen sind:

- Vorbereitung auf zukünftige Lebenssituationen, d.h. die Vermittlung von Qualifikationen, die zur Bewältigung des zukünftigen, alltäglichen Lebens beitragen und in der Regel nicht außerhalb der Schule erlernt werden.
- Stiftung kultureller Kohärenz, d.h. die Voraussetzungen zur Übernahme von Kulturgütern schaffen.
- Aufbau eines Weltbildes, d.h. die Fähigkeit zum Einordnen, Beurteilen und Aufdecken von Erscheinungen und Beziehungen ausbilden.
- Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch, d.h. Informationen, Wertungen und Interpretationen kritisch hinterfragen zu können.
- Entfaltung eines verantwortlichen Umgangs mit den zu erwerbenden Kompetenzen.
- Stärkung des Schüler-Ichs, d.h. individuelle Stärken und Schwächen entdecken, fördern und pflegen zu lassen, und damit die Möglichkeit zur individuellen Entwicklung und Auslebung der Bedürfnisse und Motivationen geben.

Die Autoren untersuchen ausgehend von dieser Sichtweise, welchen Beitrag der Computer in der Schule im Sinne einer Allgemeinbildung leisten kann. Die Bedeutung des Computers als Werkzeug und Medium sehen sie zusammenfassend mit eher gedämpften Optimismus: "Entgegen vielen hochgespannten Erwartungen stellt der Computer kein Heilmittel für das allgemeinbildende Schulwesen dar" ([Hey87], S. 37). Die Frage, ob Informationstechnik zu den Gegenständen einer Allgemeinbildung gehört, bejahen Bussmann und Heymann jedoch und begründen dies unter anderem mit dem Einfluss dieser Technik auf die Ausübung beruflicher Tätigkeiten. Dabei legen sie den Schwerpunkt auf die Rolle des Computers als symbolverarbeitende Universalmaschine in den gegenwärtigen Lebensbereichen. Technikverständnis soll soweit erzeugt werden, wie es die Durchdringung des vom Computer beeinflussten Alltagsgeschehen erfordert.

Das Konzept zur Allgemeinbildung wurde von Heymann überarbeitet und nicht nur auf die Mathematik, sondern auf verschiedene andere Fächer angewendet ([Hey96],[Hey97]). Für die Informatik hat sich eine Arbeitsgruppe unter Leitung von Helmut Witten gegründet, die derzeit versucht, die aktuellen Arbeiten von Heymann zur Prüfung des allgemeinbildenden Beitrags eines Informatikunterrichts präzisierend anzuwenden ([Wit02]).

Für eine informatische Bildung bzw. für einen Informatikunterricht haben zahlreiche Autoren mit unterschiedlichen Sichtweisen versucht, den Beitrag zur Allgemeinbildung zu präzisieren ([Bau90], [Leh92], [Eng96] u.a.). Die postulierten Beiträge der Informatik zur Allgemeinbildung lassen sich im Wesentlichen wie folgt kurz zusammenfassen:

- Der Umgang mit Methoden, Denkweisen und Modellen der Informatik – vor allem im Kontext der Erstellung von Software – soll das *Denken in Abläufen und Prozessen* beim Lösen von Problemen im Allgemeinen schulen. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem fundamentale Ideen angeeignet und bewusst gemacht werden, die auf ähnliche Probleme in künftigen Lebenssituationen transferiert werden können.
- Computer und Informatiksysteme sollen im Zusammenhang von Ansätzen und Ergebnissen zur Automatisierung informationeller Prozesse, insbesondere geistiger Tätigkeiten des Menschen, als *kulturtechnisches Phänomen* gesehen und verstanden werden. Die Verwendung von sprachlichen Gebilden als Ausdrucksmittel, die technische Verarbeitung von Zeichen und Information, die Repräsentation und das Abrufen von Wissen in Informatiksystemen bilden einen Schwerpunkt.
- Ein Einblick in gesellschaftlich relevante Anwendungen von Informatiksystemen und ihre *spezifische Wirkungsweise in den Dimensionen Mensch, Maschine, Gesellschaft* soll den reflektierten Einsatz von Informatiksystemen unterstützen und eine selbstbestimmte und selbstsichere Teilnahme an einer Informationsgesellschaft ermöglichen.

Eine Stärkung des "Schüler-Ichs" durch die kreative und stark selbstbestimmte Konstruktion von informatischen Produkten, an denen sich Erfolg und Misserfolg unmittelbar erfahren lässt, wird im Rahmen der Allgemeinbildungsdiskussion zum Informatikunterricht selten erwähnt. Allen Beiträgen ist gemeinsam, dass sie weder empirisch belegt sind noch genügend didaktisch-methodisch konkretisiert wurden.

Es bleibt die Forderung bestehen, "Informatiker müssen erst einmal aufzeigen, wo und wie informatische Inhalte Beiträge zur Allgemeinbildung leisten können" ([Eng95] u.a.)⁴. Einen Beitrag soll diese Arbeit darstellen, in der wir das Modellieren von Modellen⁵, wie es in der Informatik durchgeführt wird (Kap. III), als eine kulturell-tradierte, allgemeinbildende Leitlinie für einen Informatikunterricht im Rahmen einer informatischen Bildung begründen (Kap. II und IV).

3. Ansätze zur Integration einer Informatischen Bildung in die Schule

Die allgemeinbildenden Schulen müssen ihr Klientel, die Schüler, auf eine von Technik durchdrungene Welt vorbereiten. Die Informationstechnik hat gegenüber anderen Techniken für die Allgemeinbildung eine Sonderstellung, da mit ihr die Verarbeitung von Information möglich ist. Die Informationstechnik ist daher unter anderem ein wichtiges Werkzeug zum Lernen und Kommunizieren. Obwohl die Diskussion um Computer und Schule über 30 Jahre alt ist, finden sich im föderalen Bildungssystem der BRD keine einheitlich-akzeptierten Konzepte zur inhaltlichen oder methodischen Qualifizierung der Schüler für den Bereich der Informationstechnik. In der schulischen Auseinandersetzung mit Informatiksystemen lassen sich derzeit drei verschiedene Schwerpunktsetzungen feststellen.

Die Betonung liegt dabei

- auf dem Nutzen solcher Systeme zur Unterstützung von Lernvorgängen (Medien-orientiert),
- auf der Schulung von Bedienerfertigkeiten für konkrete Systeme (Werkzeug-orientiert) oder
- auf der Vermittlung allgemeiner und langlebiger Grundlagen der Informatik (Sach-orientiert).

Jeder Unterricht zu einem der drei Ausbildungsbereiche nutzt Kenntnisse und Fertigkeiten aus den anderen Bereichen. Insbesondere die Ziele der ersten beiden Schwerpunkte lassen sich nur mithilfe des dritten Schwerpunkt angemessen erreichen (vgl. [Fri97], [Gi99]). Hinzu kommt, dass die

⁴ Es genügt nicht darauf zu verweisen, dass andere Fächer dies auch tun sollten.

⁵ Mit "Modellieren von Modellen" wird ausgedrückt, dass in der Informatik nicht nur Modelle verwendet werden, sondern meist in Modellketten ein Modell als Nachfolger eines anderen Modells konstruiert wird.

Ausbildung bereits in der Sekundarstufe I verpflichtend erfolgen muss, wenn alle Schüler qualifiziert werden sollen.

Die Diskussion zu den unterschiedlichen curricularen Konzepten einer informationstechnischen Bildung in den 80iger Jahren führte zu dem Konzept einer "Informationstechnischen Grundbildung" (ITG) der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung ([BLK87]). Die ITG ist ein Kompromiss, der sowohl eine kritische Auseinandersetzung mit der Informationstechnik als auch die Ausbildung einer "computer literacy" vorsieht, und sollte einem Informatikunterricht der Oberstufe vorausgehen. Als Aufgaben der ITG wurden beschrieben:

- Aufarbeitung und Einordnung der individuellen Erfahrungen mit Informationstechniken,
- Vermittlung von Grundstrukturen, die den Informationstechniken von Bedeutung sind,
- Einführung in die Handhabung eines Computers und dessen Peripherie,
- Vermittlung von Kenntnissen über die Einsatzmöglichkeiten und die Kontrolle der Informationstechniken,
- Einführung in die Darstellung von Problemlösungen in algorithmischer Form,
- Gewinnung eines Einblicks in die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung,
- Schaffung des Bewusstseins für die sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen, die mit der Verbreitung der Mikroelektronik verbunden sind,
- Darstellung der Chancen und Risiken der Informationsverarbeitung sowie Aufbau eines rationalen Verhältnisses zu diesen,
- Einführung in Probleme des Persönlichkeits- und Datenschutzes.

Eine vertiefende informationstechnische Bildung in Form eines Faches Informatik wurde nur für den Bereich der Sekundarstufe II für notwendig erachtet.

Das Konzept der ITG muss aus mehreren Gründen als gescheitert bezeichnet werden. Da sich die ITG als eigenständiges Unterrichtsfach – sicherlich auch aufgrund der fehlenden fachwissenschaftlichen Anbindung – konzeptionell nicht durchsetzen ließ ([Eng99], S. 28), wurde die ITG in den Bundesländern meist quer zu den bestehenden Fächern angelegt (Ausnahme: Berlin). Trotz des enormen Aufwandes zur Entwicklung und Evaluation von Unterrichtskonzepten konnte eine flächendeckende Umsetzung – insbesondere in der konkreten Unterrichtspraxis – bis heute nicht erreicht werden. Zudem führte die rasante technische Entwicklung zu einer raschen Veralterung des Konzepts und der Materialien. Koerber und Peters stellen fest, "dass entweder produktbezogene Anwenderschulungen oder Programmierkurse im Kleinen in diesem Unterricht durchgeführt werden." ([Koe93], S. 109f), was sicherlich nicht den Intentionen der BLK entsprach. Von anderer Seite her wird der ITG vorgeworfen, sie stehe für eine "soziologisierte" und unwissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Informationstechnik, in der die Grundprinzipien der Wissenschaft Informatik nicht mehr zum Tragen kommen ([Bau96], S. 118f). Koerber u.a. forderten daher ein Gesamtkonzept für eine informatische Bildung, in dem alle notwendigen Elemente dieses Bildungsbereichs berücksichtigt werden.

Gegen eine fächerintegrierte und fachwissenschaftlich-ungebundene Konzeption einer ITG spricht zum einen, dass sich bestimmte Inhalte ohne Grundlagen aus der Wissenschaft Informatik aus didaktischen und methodischen Gründen nicht fächerintegriert vermitteln lassen. Wenn beispielsweise Probleme des Datenschutzes angesprochen werden, muss auch die Diskussion technischer Maßnahmen möglich sein, um ein ganzheitliches Verständnis der Problematik zu ermöglichen. Dieses erfordert aber grundlegendes informatisches Wissen von Lehrern wie Schülern (z.B. zum Zugriffsschutz, zu Kodierungsverfahren u.a.). Es ist immer wieder verblüffend,

mit welchem Selbstverständnis in der Bildungspolitik angenommen wird, dass die Vermittlung und die Diskussion von informatischen Inhalten ohne Lehrer erfolgen können, die eine entsprechende informatische Ausbildung durchlaufen haben. Zudem fehlt bei einer Streuung von ITG-Inhalten auf verschiedene Fächer offensichtlich der "rote Faden" zu den informatischen Inhalten für die Schüler. Fächerverbindender Unterricht ist bisher an den deutschen Schulen auch ohne ITG selten und schwer organisatorisch realisierbar gewesen⁶. Natürlich wird der Computer als Medium zunehmend in allen Fächern Bedeutung erlangen; jedoch nicht als Inhalt einer Auseinandersetzung. Insofern ist die Prognose von Norbert Breier, "dass sich die informationstechnische Grundbildung im Sinne des BLK-Konzepts bereits in wenigen Jahren in den medialen Computereinsatz im Fachunterricht einerseits und in ein eigenständiges Fach Informatik in der Sekundarstufe I andererseits auflöst" ([Bre94], S. 90), nicht etwa gewagt, sondern eine aktuelle bildungspolitisch-zwingende Konsequenz.

In Abgrenzung zur ITG greift Norbert Breier wieder auf den Begriff der "Informatischen Bildung" als Teil der Allgemeinbildung zurück. Der Schlüsselbegriff für Breier ist die "Information" als Erscheinungsform der "realen Welt".

"Informatische Bildung ist in diesem Verständnis jener Teil der Allgemeinbildung, der die Welt unter informationellem Aspekt betrachtet, während die naturwissenschaftlichen Fächer den stofflichen oder energetischen Aspekt in den Mittelpunkt ihres Unterrichts stellen. Sie vertritt die Informationswissenschaften als den für das ausgehende 20. Jahrhundert charakteristischen Wissenschaftstyp, der neben der Informatik auch die Informationstheorie, die Kybernetik, die Systemtheorie und die Kognitionswissenschaften umfaßt" (ebd., S. 92).

Er verweist damit auf den Kybernetiker Norbert Wiener, der in den 40iger Jahren Information neben Energie und Materie als bedeutenden Inhalt für die Wissenschaften herausstellte⁷. Allerdings ist die Definition von Wiener "informatics is the science that has as its domain information processes and related phenomena in artifacts, society, and nature" für das deutsche Verständnis von Informatik und "Informatischem" sicherlich zu weit gefasst (vgl. [Coy01], S. 9).

Die "GI-Empfehlungen für ein Gesamtkonzept zur informatischen Bildung an allgemein bildenden Schulen" ([Gi00]) greifen den Impuls von Breier auf und fassen zusammen:

"Informatische Bildung ist das Ergebnis von Lernprozessen, in denen Grundlagen, Methoden, Anwendungen, Arbeitsweisen und die gesellschaftliche Bedeutung von Informatiksystemen erschlossen werden."

Die Empfehlungen fordern ein eigenständiges Pflichtfach Informatik ab der Jahrgangsstufe 6, um die Grundlagen der maschinellen Informationsverarbeitung, einer "Kulturtechnik", angemessen vermitteln zu können. Als Leitlinien für eine informatische Bildung formulieren die Empfehlungen:

- Interaktion mit Informatiksystemen,
- Wirkprinzipien von Informatiksystemen,
- Informatische Modellierung und
- Wechselwirkungen zwischen Informatiksystemen, Individuum und Gesellschaft.

Die Leitlinie "Informatische Modellierung" der GI-Empfehlung intendiert einen reflektierten Einsatz von informatischen Modellen und einen kritischen Umgang mit Informatiksystemen zur

⁶ Sollte ein fächerverbindender Ansatz über Lernbereiche durch eine Schulreform organisierbar werden, sind informatische Inhalte, Gegenstände und Themen prädestiniert, um eine Verbindung zu schaffen. Jedoch wird auch bei einem derartigen Ansatz der Einsatz von Lehrern mit einer grundständigen Informatikausbildung notwendig sein.

⁷ Wiener war sich der Tragweite der neuen informatischen Technologien und Theorien bewusst und wurde nicht müde, vor dem politischen Missbrauch zu warnen ([Wie66]).

Modellierung. Diese Leitlinie der GI bezieht sich jedoch vor allem auf Modellierungstechniken der Softwareentwicklung, die nur ein Teilgebiet der Informatik repräsentiert.

Einem Schulfach muss – meiner Meinung nach – ein universitäres Leitfach zugeordnet werden, aus dem das Schulfach eine Vielfalt von aufeinander aufbauenden Inhalten, Gegenständen und Methoden beziehen kann. Für den Informatikunterricht ist dies eindeutig die Wissenschaft Informatik mit ihren Teilgebieten. Akzeptiert man diese Position, so sollte eine Leitlinie „Informatische Modellierung“ die Bedeutung informatischer Modelle und Modelltypen möglichst aller Teilgebiete thematisieren⁸. Dies bedeutet nicht, dass die universitäre Lehre direkt auf die schulischen Inhalte zu übertragen ist, aber die Fachbegriffe, Gegenstände und ausgewählten Inhalte stammen aus der Fachwissenschaft und müssen für das schulische Niveau didaktisch reduziert und an schülerorientierten Themen vermittelt werden.

Wir werden untersuchen, was unter informatischer Modellierung bzw. informatischer Modellbildung in der Fachdidaktik und in Fachcurricula verstanden wird und welche Modelle in der Fachwissenschaft Informatik verwendet und konstruiert werden. Anschließend wird die potentielle Relevanz informatischer Modelle und informatischer Modellierung für die Allgemeinbildung und den Informatikunterricht begründet.

4. Der Modellbegriff in fachdidaktischen Ansätzen und Empfehlungen

Zu den Aufgaben der Fachdidaktik Informatik gehört die Mitwirkung an der Definition grundlegender Ziele und Inhalte des Informatikunterrichts für die allgemeinbildenden Schulen, d.h. Ideen, Methoden und Erkenntnisse der Informatik, die für den Unterricht relevant sind, festzuschreiben. Für den Schulunterricht wird vor allem die Bedeutung einer informatischen Modellierung bzw. Modellbildung immer wieder betont. An dieser Stelle werden einige Ansätze kurz vorgestellt.

Als ein erster Ansatz zur schwerpunktmäßigen Behandlung von problemlösenden Modellbildungsmethoden im Informatikunterricht wird die von Brauer und Brauer 1973 geforderte Abkehr von dem (damaligen) hardware- und programmiersprachenorientierten Informatikunterricht, hin zur Vermittlung von Methoden der Strukturierung, Mathematisierung und Algorithmisierung von Problemen gewertet ([Hub00], S. 68).

In der Zeit der sogenannten "Krise" des Informatikunterrichts ([Pesch89]) haben Koerber und Peters in der Diskussion zur Aufgabenverteilung zwischen Informatikunterricht und ITG innerhalb einer informatischen Bildung auf die Bedeutung der Modellbildung hingewiesen:

"Das Ziel aller Anwendungen der Informatik ist davon geprägt, Probleme systematisch – und damit letztlich automatisiert lösen zu können. Von entscheidender Bedeutung bei der Anwendung der Methoden der Informatik ist daher der Vorgang des Problemlösens, dessen Basis wiederum Abstraktion und Modellbildung sind." ([Koe89], S. 28f)

In diesem anwendungsorientiertem Ansatz ist ein Modell eine vereinfachte Darstellung von Zusammenhängen eines Realitätsausschnitts. Entscheidend ist, dass ein im Wesentlichen computerunabhängiges Modell der computerunterstützten Bearbeitung eines Problems voraus geht.

⁸ In Abgrenzung zur GI-Leitlinie spreche ich daher von einer „Informatischen Modellbildung“.

"Zur adäquaten Nutzung informationstechnischer Werkzeuge ist es notwendig, stets die Reduktion der Realität durch Modellbildung und Abstraktion zu verdeutlichen. Denn jeder, der Informationstechnik anwendet, muß wissen, daß er sich mit einer Modellwelt auseinandersetzt, bzw. seine Realität durch andere Menschen modelliert worden ist. Gleichzeitig muß diese Erkenntnis auch dazu führen, daß die Modellwelt, mit der sich Anwender, Nutzer und Konstrukteure auseinandersetzen, niemals zur neuen Realität wird." ([Koe93], S. 111).

Nicht das Programm bestimmt das Problem, sondern umgekehrt. Für den Informatikunterricht entwickelten die Autoren ein am klassischen Vorgehensmodell der Softwareentwicklung orientiertes Unterrichtsverfahren, das die Erstellung eines deskriptiven Entwurfsmodells zu einem Problem betont (vgl. IV 3.). Datenstrukturen, Datenobjekte und Algorithmen repräsentieren "modellhaft" die Wirklichkeit, wie sie in der Anforderungsdefinition beschrieben wird, und gehen einer Kodierung, Programmmodifizierung oder Programmanwendung voraus. Den Unterschied zwischen ITG und Informatikunterricht sehen Koerber und Peters darin, dass die ITG das entwickelte Entwurfsmodell mit einem vorliegenden, zu dem Modell passendem Anwendungssystem löst, während im Informatikunterricht bereits existierende Anwendungssysteme auf ihre (teilweise) Eignung überprüft, und zur Problemlösung Teile aus dem Entwurfsmodell neu kodiert werden. Soll dann die ITG im letzteren Fall die Schüler im Hinblick auf eine Problemlösung jeweils auf den Informatikunterricht verweisen?

In einem der wenigen Bücher zur "Didaktik der Informatik" benennt Baumann ([Bau96], S. 153ff) vier Grundkategorien der Informatik: Information, System, Modell, Programm. Baumann betont, dass jeder dieser Begriffe auch außerhalb der Informatik verwendet wird, und erläutert die Begriffe für die Informatik wie folgt (ebd., S. 156ff):

- Unter Information wird der (sprecher- und darstellungsinvariante) Inhalt einer Nachricht verstanden, welcher das Wissen des Empfängers erweitert.
- Als System bezeichnet man eine Gesamtheit – konkreter oder abstrakter – Gegenstände, die in Beziehung bzw. in Wechselwirkung zueinander stehen. Die Informatik befasst sich mit diskreten Systemen.
- Das Modell ist (für Informatiker) eine vereinfachte struktur- und verhaltenstreue Beschreibung eines realen Systems.
- Ein Programm ist die Formulierung eines Algorithmus und der zugehörigen Datenbereiche in einer Programmiersprache.

Unter den verschiedenen Programmiersprachenparadigmen (imperativ, funktional, logisch) lassen sich unterschiedliche informatische Modellierungsmethoden und -sichtweisen erkennen. Beispielsweise wird die logische Programmierung vorwiegend durch rekursive Strukturen bestimmt, die ein – uns weniger geläufiges – Denken erfordern. Eine objektorientierte Modellierung scheint hingegen in besonderer Weise den kognitiven Prozess des Menschen beim Denken, Erkennen und Problemlösen angepasst zu sein ([Schwi95]). Sie ist allerdings nicht per se an ein Programmiersprachenparadigma gebunden.

Zum Modellbegriff unterscheidet Baumann verschiedene allgemeine Modelltypen, konkretisiert diese allerdings für die Informatik oder für den Informatikunterricht nicht.

- Ein Gebildemodell ist ein angefertigter Gegenstand, der einem vorgegebenen oder geplanten Gegenstand (dem Original) strukturell oder funktional ähnlich ist.
- Ein Beschreibungsmodell, ist eine struktur- oder verhaltenstreue Darstellung eines Ausschnitts der realen Welt mittels einer Sprache. Je nach Zweck der Modellbildung wird unterschieden in Erklärungsmodell zur Vorhersage von Ereignissen, Entscheidungsmodell und verständnisförderndem Beschreibungsmodell.

Auf mentale Modelle, als gedankliche Repräsentationen von Ideen und Vorstellungen, und die Modellmethode geht der Autor interessanterweise nur in der ersten Auflage seines Buches ([Bau90], S. 163ff) ein. Zu dem Begriff Simulation, der häufig im Zusammenhang mit einer Modellbildung genannt wird, zitiert Baumann die VDI⁹-Richtlinie 3633

"Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind."

und kritisiert die VDI-Definition insofern, dass die Simulation eigentlich die Nachbildung des Verhaltens eines modellierten Systems sei, während die Nachbildung des Systems als Modellierung zu bezeichnen ist. Eine Computersimulation liegt dann vor, wenn das zugrundeliegende Modell die Gestalt eines Computerprogramms hat. Obwohl Baumann im Kontext von prädikatenlogischen Sprachen – zumindest in der ersten Auflage – von dem mathematischen Modell im Sinne einer "algebraischen Erfüllungsmenge" spricht ([Bau90], S. 158), listet er dieses in der späteren Ausgabe nicht mehr als Modelltyp auf.

Für Sigrid Schubert ([Schub91]) liegt der persönlichkeitsbildende Wert der Informatik in der spezifischen Weise, Modelle aus Strukturen zu entwickeln und der "experimentellen Manipulation mit diesen Modellen" (ebd., S. 28), die den Schülern ihre Denkfehler aufzeigen. Hierzu sollen die Lernenden gut strukturierte Lösungspläne und Tätigkeitsbeschreibungen verwenden und entwickeln.

"Modelle suchen, deren Objekte und Strukturen bestimmen, ihre Leistungsfähigkeit bewerten, das alles besitzt hohen persönlichkeitsbildenden Wert in einer Zeit, da qualifizierter Umgang mit Informationen den Zugang zu anderen Disziplinen beeinflusst" (ebd., S. 27).

Die Arbeitsweisen und die den Modellen zugrundeliegenden Strukturen sind – von exemplarischen Anwendungen ausgehend – zu vermitteln, sonst bestehe die Gefahr, dass Prinzipien und Methoden von der Faktenfülle verdeckt werden. Informatiker konstruieren Beschreibungen für einen Ausschnitt der realen Welt, wobei "die reale Welt so genau wie möglich im Informatiksystem beschrieben (abgebildet) wird." ([Schub00a], S. 31). Ein Ziel der informatischen Bildung sei die Ausbildung von Modellkritik als Teil des Grundverständnisses von Informatiksystemen.

Die GI-Empfehlungen für das Fach Informatik in der Sekundarstufe II betonen die Förderung schöpferischen Denkens durch "Erfahrungen mit einer Vielzahl kreativer Gestaltungsmöglichkeiten (z.B. Modellbildung, sprachliche und graphische Gestaltung) mit Hilfe des Computers" ([Schul93], S. 207). Die Verwendung von Modellierungstechniken zur Lösung eines Problems, die Fähigkeit zur Einsichtnahme in die Grenzen eines Modells, Überblick zur Darstellungen der Softwaremodellierung und Automatenmodelle werden als Inhalte gefordert. Auch die für eine informatische Bildung genannten Leitlinien stellen das Arbeiten mit Modellen als langfristig gültiges Allgemeingut für einen Informatikunterricht heraus (s. S. 8).

⁹ Verein deutscher Ingenieure

Die fundamentalen Masterideen der Informatik „Algorithmisierung“, „strukturierte Zerlegung“ und „Sprache“ stützen nach Schwill ([Schwi94], S. 21) die häufig betonte, aber selten reflektierte Bedeutung, einer informatischen Modellierung und ihrer Methoden.

- "Mit der strukturierten Zerlegung sind die Ideen verbunden, mit deren Hilfe man ein reales System analysiert und die modellrelevanten Eigenschaften ableitet.
- Das Modell wird anschließend auf der Basis einer Beschreibungssprache präzisiert und öffnet sich so weiteren syntaktischen und vor allem semantischen Analysen und Transformationen.
- Der dynamische Aspekt von Modellen, die Möglichkeit, sie zu simulieren, wird durch die Algorithmisierung erfaßt. Die zugehörigen Ideen dienen dem Entwurf und dem Ablauf von Simulationsprogrammen im weitesten Sinne."

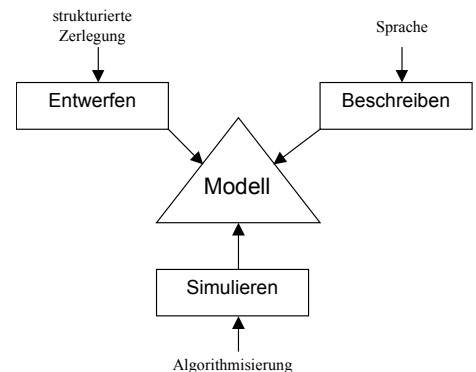


Abb. 1 nach ([Schwi94])

Nach Schwill modelliert die Informatik "meist Sachverhalte, die einer vom Menschen geschaffenen Welt entstammen (Bürovorgänge, Fahrzeugströme an Kreuzungen, Bibliothekssysteme)." (ebd., S. 23). Ikonische (bildhafte) und symbolische (zeichenartige) Modelle (vgl. [Fre61a]) werden in Zwischenschritten genutzt, um sogenannte "enaktive" Modelle zu erstellen, die eine künstliche Wirklichkeit darstellen können, die vom Menschen kognitiv ähnlich erfasst wird, wie die "reale" Welt.

In einer Arbeitsgruppe zur Informatischen Bildung auf dem 2. Fachdidaktischen Gespräch zur Informatik an der TU Dresden wurden vier Leitlinien für einen in der Sekundarstufe I angesiedelten Informatikunterricht aufgestellt ([Fri95a]; vgl. a. [GI00]):

- Umgang mit Informationen,
- Wirkprinzipien von Informatiksystemen,
- Problemlösen mit Informatiksystemen,
- Arbeiten mit Modellen, d.h. die Schüler sollen
 - erkennen, daß die Arbeit mit Informatiksystemen ein Arbeiten mit Modellen ist,
 - erkennen, daß jedes Modell ein Abbild der Realität ist,
 - Methoden zur Modellbildung kennen und anwenden,
 - Phasen der Modellbildung anwenden können, insbesondere die Notwendigkeit der Modellkritik einsehen.

Das Erkennen und Anwenden von Modellen wird als Teil der Programmierung verstanden und bildet eine Säule für ein spiralcurricular anzulegendes Curriculum.

Hoppe und Luther bezeichnen die Modellbildung als das "Schlüsselproblem" der Informatik ([Hop96], S. 12) und stellen "die informatische Modellbildung von Problemen, Prozessen und Abläufen, insbesondere ihre angemessene sprachliche Beschreibung, Abstraktion und Strukturierung, ihre algorithmische Durchdringung sowie eine Lösung und Steuerung mit adäquatem Werkzeug" (ebd., S. 9) in den Mittelpunkt des Informatikunterrichts.

Als informatische Modellierung wird hier wiederum eine sprachliche Beschreibung betont, allerdings in einer formalisierten Art und Weise. Unter Verweis auf Wilkens und Nake ([Wil95]) und dem Ansatz eines Schulfaches Informatik als Sprachenunterricht von Claus ([Cla95a]) zeigen sie drei Reduktionsschritte einer informatischen Modellierung auf:

- Semiotisierung, Dinge und Prozesse unseres unmittelbaren Tuns müssen in Zeichen transformiert werden;
- Formalisierung, Zeichen werden einer Standardisierung mit Hilfe von syntaktischen Regeln unterworfen und maschinell bearbeitbar aufgrund einer
- Algorithmisierung.

Die Autoren weisen auch auf die Möglichkeit der Verwendung von graphisch orientierten Spezifikationswerkzeugen für die Modellbildung hin (s. a. [Tho99]). Das Ziel einer informatischen Modellbildung sehen Hoppe und Luther in der Simulation von Prozessen aus Technik und Umwelt auf Computern.

Für Peter Hubwieser ([Hub00], S. 69) ist der Prozess der Modellbildung und Simulation nicht nur ein Lerninhalt, sondern ein durchgängiges Prinzip der Unterrichtsgestaltung. Im Rahmen eines informationszentrierten Ansatzes propagiert und begründet Hubwieser für die Sekundarstufe I und die Klasse 11 eine systematische und problemorientierte Einführung in – auf Schülerniveau reduzierte – Modellierungstechniken der UML und ergänzt seine Ausführungen durch ausführliche Unterrichtsbeispiele. Dieses Konzept wird derzeit für ein bayerisches Informatik-Curriculum erprobt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in der Fachdidaktik der Informatik zahlreiche Modelle und Modellierungstechniken für den Informatikunterricht herausgestellt werden. Es besteht jedoch keine Einigkeit, was unter informatischer Modellbildung zu verstehen ist, es werden selten konkrete informatische Modelle allgemeindidaktisch begründet und es fehlt eine übergreifende Systematik zu den informatischen Modellen. Es bleibt der Eindruck, dass die Modelle und das Modellieren der Fachwissenschaft in den einzelnen didaktischen Ansätze nur unzureichend, teilweise sogar einseitig, erfasst wird.

5. Der Modellbegriff in deutschen Informatik - Lehrplänen

In diesem Abschnitt werden Informatiklehrpläne aus verschiedenen Bundesländern hinsichtlich einer Verwendung der Begriffe Modell und Modellbildung untersucht, um die derzeitige Bedeutung einer informatischen Modellierung im Informatikunterricht herauszustellen¹⁰. Pläne zur ITG werden nicht berücksichtigt. Es gehen nur Textstellen in die Analyse ein, die den Suchbegriff "modell" enthalten. Diese Methode liefert daher keine Aussagen darüber, ob und welche Modelle im weitesten Sinne in den Lehrplänen enthalten sind, die nicht als Modelle bezeichnet werden¹¹.

Einleitend wird in einem tabellarischen Überblick, der sich auf eine Umfrage unseres Lehrstuhls ([Schwi00]) zu den Einstellungskriterien und zu der Einstellungssituation von Informatiklehrkräften sowie auf Angaben in den verfügbaren Lehrplänen stützt¹², der Stellenwert des Informatikunterrichts an allgemeinbildenden, nicht-beruflichen Schulen in den jeweiligen Bundesländern deutlich. Anschließend werden die Ergebnisse der Analyse zu den einzelnen Lehrplänen des jeweiligen Bundeslandes zusammengefasst, so dass die unterschiedlichen Begriffsverständnisse zum Modell und deren Wandel deutlich werden.

¹⁰ Man beachte, dass die Intentionen und Inhalte der Lehrpläne häufig nur in abgeschwächter Form in die konkrete Unterrichtspraxis einfließen, so dass die Aussagen nicht mit der Unterrichtspraxis übereinstimmen müssen.

¹¹ Die in meiner Arbeit herausgearbeiteten Systematiken zu (informatischen) Modellen dürften für eine Suche nach Modellen, die in den Lehrplänen nicht explizit als Modelle bezeichnet werden, hilfreich sein.

¹² Ältere Beschreibungen zum Stellenwert des Informatikunterrichts an deutschen Schulen findet man z.B. bei Arlt ([Arl.81]).

Bundesland	Informatikangebot	Einführung	Lit.Verweis
Baden-Württemberg	Hauptschule: 7 - 10 (mit Wirtschaft)	1994	[BaW94a]
	Gymnasium: 12 - 13 (Wpfl.)	1995/2001	[BaW94]/[BaW01]
Bayern	Haupt-/Realschule: 8 - 10 (Wpfl.)	1997	[Bay97], [Bay93], [Bay01]
	Gymnasium: 6 - 11	2002 (geplant)	[Bay99]
Berlin	Realschule/Gesamtschule: 9 - 10 (Wpfl.)	1986	[Ber86]
	Gymnasium: 10/11-13	1990/1981	[Ber90], [Ber81]
Brandenburg	Sekundarstufe I: 7/ 9 - 10 (Wpfl.)	2002	[Bra02]
	Sekundarstufe II: 11 - 13	1992	[Bra92]
Bremen	Gymnasiale Oberstufe: 11 - 13	2001	[Bre01]
Hamburg	Gymnasiale Oberstufe: 11 - 13	1989	[Ham89]
Hessen	Sekundarstufe I: 9 - 10 (Wpfl.)		
	Gymnasiale Oberstufe: 11 - 13	1989	[Hes94]
Mecklenburg-Vorpommern	Gymnasiale Oberstufe: 11 - 13	2001 (Entwurf)	[Mec01]
Niedersachsen	Realschule: 9 - 10	1993	[Nie93]
	Gymnasiale Oberstufe u.a.	1993	[Nie93a]
Nordrhein-Westfalen	Realschule: 5 - 10	1993	
	Gymnasium SI: 9 - 10 (Wpfl.)	1993	[Nor93a]
	Sekundarstufe II: 11 - 13	1999	[Nor99]
Rheinland-Pfalz	Gymnasium: 11 - 13	1993	[Rhe93]
Saarland	Erweiterte Realschule: Wpfl. 9 (mit Wirtschaft)	2001	[Saa01]
	Gymnasium/Gesamtschule: 11 - 13	1992, 1995	[Saa92]
Sachsen	Mittelschule: 7 - 10 bzw. 9 - 10	1992, 1993	[Sac92]
	Gymnasium: 7, 11, 12	1992, 2000	[Sac92a]
Sachsen-Anhalt	Gymnasium: 11 - 13	2002 (Entwurf)	[San02]
Schleswig-Holstein	Gymnasium, Gesamtschule, Fachgymnasium	(Entwurf)	[Schle]
Thüringen	Regelschule/Gymnasium: 8 - 9/10 (Wahlfach)	2001 (Entwurf)	[Thue01]
	Gymnasium: 11 - 12	1999	[Thue99]

Baden-Württemberg

Im Land Baden-Württemberg kann das Fach Informatik an Gymnasien in der Oberstufe (2-stündig, Klasse 12 und 13) belegt werden. Eine informations-technische Einführung ist in der Sekundarstufe I in das Fach Mathematik (1 WS) bzw. an der Realschule in das Fach Technik (2 WS) integriert. Die Hauptschule ([BaW94a]) bietet eine Belegung des Faches Informatik/Wirtschaftslehre im Umfang von 4 Wochenstunden an, im Sinne einer Bedienerschulung. Ein informatischer Modellbegriff konnte in der Sekundarstufe I nicht gefunden werden.

Der Bildungsplan für das 9-jährige Gymnasium ([BaW94]) führt zu den Aufgaben des Informatikunterrichts aus: "Probleme, die für einen Rechneinsatz geeignet sind, sollen analysiert und mit systematischen Techniken algorithmisch gelöst werden. Dabei werden Modelle verwendet. Verfahren und Datenstrukturen werden erarbeitet und soweit präzisiert, daß sie als programmierter Lösungsablauf formuliert und als Programm einem Computer zur Verarbeitung übergeben werden können ... Die Einsicht in den Ablauf automatisierter Vorgänge fördert ein grundlegendes Verständnis der Arbeitsweise eines Computers. Zum Grundlagenwissen gehören deshalb auch Kenntnisse über seinen prinzipiellen Aufbau, seine Funktionsweise sowie Einsichten in die Steuerung eines Computers auf verschiedenen Modellebenen." (ebd., S. 33). Als Modelle werden explizit genannt: Funktionsmodell eines Computers (EVA), Speichermodell im Kontext des Variablenbegriffs, Datenmodell bei Datenbanken und das Simulationsmodell als Unterrichtshilfe(!) zum Verständnis der Arbeitsweise des Computers (ebd., S. 774ff). Modellbildung wird im Rahmen der strukturierten Problemlösung als Vereinfachung einer realen Situation auf eine formale Beschreibung verstanden.

In dem zwei Jahre später publizierten Bildungsplan für Informatik in der Kursstufe am Gymnasium ([BaW01]) wird etwas präziser erläutert: "Probleme, die für einen Rechneinsatz geeignet sind, werden analysiert und mit systematischen Techniken algorithmisch gelöst. Dabei werden Modelle entwickelt und grundlegende Problemlösemethoden angewandt. Algorithmen und Datenstrukturen werden erarbeitet und soweit präzisiert, dass sie als programmierter Lösungsablauf formuliert und als Programm einem Rechner zur Verarbeitung übergeben werden können." (ebd., S. 246ff). In der Lehrplaneinheit 5 "Problemlösetechniken" findet sich ein Hinweis auf die Existenz von informatischen Modellierungsmethoden, wo es heißt: "Die strukturierten Modellierungsmethoden

finden ihre Fortentwicklung in den objektorientierten Methoden. Dabei werden nicht nur die Daten und Funktionen eines Systems beschrieben, sondern auch ihre gegenseitigen Beziehungen und Abhängigkeiten, um so ein ganzheitliches Modell einer komplexen Wirklichkeit zu erhalten." Anschließend werden Elemente der objektorientierten Softwareentwicklung aufgeführt, unter anderem Dekompositionsdiagramme und Klassendiagramme, aber auch Struktogramme. Die Begriffe Funktionsmodell und Speichermodell treten nicht mehr auf.

Bayern

Der Informatikunterricht an den Hauptschulen ([Bay97]) und Realschulen ([Bay93], [Bay01]) baut auf einer informationstechnischen Grundbildung auf. Die Schüler der Hauptschule sollen den Computer vor allem als Werkzeug und Medium nutzen können. Ein Modellbegriff wird dabei nicht verwendet. In der Realschule werden informatische Grundlagen vermittelt. Hier finden sich das relationale Datenmodell, das Modellieren von Systemen, eine Unterscheidung von Modellierung und Codierung, ein Modell für den Computeraufbau (von-Neumann), Phasen in der Modellbildung, ein funktionales Modell und ein objektorientiertes Modell der Softwaretechnik, ein Schichtenmodell, Modellierung und Simulation als Thema und Modellierungstechniken.

In der neuen Stundentafel für das bayerische Gymnasium wird das Fach Informatik erstmals als eigenständiges Fach in der Unter- und Mittelstufe ausgewiesen, mit 8 Pflichtstunden im naturwissenschaftlich-technischen und 2 Pflichtstunden in allen anderen Gymnasien (Stand: 10.05.2002). Die Orientierung des Faches wurde maßgeblich durch den informationszentrierten Ansatz von Peter Hubwieser ([Hub97], [Hub00]) geprägt. Da die Lehrpläne noch in der Entwicklung sind, wird an dieser Stelle stellvertretend der Lehrplan Informatik für den Modellversuch am Europäischen Gymnasium ([Bay99]) untersucht, der zur Einführung der Informatik als Pflichtfach durchgeführt wurde. Der Begriff der Modellierung wird zum Kern des Informatikunterrichts. In der Unterstufe werden Elemente der objektorientierten Modellierung (Objekt, Attribut, Attributwert) anhand der Verarbeitung von Informationen mit Computern propädeutisch eingeführt. Die Erarbeitung eines "Grundprinzips der Modellierung" bildet den Schwerpunkt in der Mittelstufe, d.h. Ausschnitte der Realität werden mittels dem relationalen Datenmodell und "Algorithmenmodellen" zielgerichtet vereinfacht, strukturiert und bewertet. Die Modelle werden anschließend auf ein Informatiksystem übertragen. Die Schüler sollen dabei ein "breites Spektrum an Denkmodellen entwickeln, mit deren Hilfe sie entsprechend ihres Entwicklungsstandes komplexere, multikausale und vernetzte Problemstellungen bearbeiten können" (ebd., S. 1). In der Jahrgangsstufe 11 werden zustandsorientierte und objektorientierte Modellierungen erschlossen und alle erlernten Modellierungstechniken wertend gegenübergestellt.

Berlin

Im Wahlpflichtbereich kann Informatik in der Realschule und der Gesamtschule in den Klassen 9 und 10 ([Ber86]), an Realschulen zusätzlich im Rahmen der Arbeitslehre von Klasse 7 bis 8, am Gymnasium in Klasse 10 ([Ber90]) sowie als Kurs in der Oberstufe gewählt werden.

In dem Rahmenplan für die Realschule und die Gesamtschule wird das einfache Phasenmodell der Softwareentwicklung als übergeordnetes Konzept verwendet. Sollkonzept und Modellbildung als Teil des Softwareentwicklungsprozesses sind als verbindliches Ziel formuliert (interessanterweise wird die Modellbildung nicht der Entwurfsphase zugeordnet). Ein Rechnerprogramm wird als Modell eines Ausschnitts der Wirklichkeit (ebd., S. 5) oder eines Systems beschrieben, personenbezogene Daten als ein Modell des Menschen (ebd., S. 41). Modellbildung und Simulation ist ein Themenbereich in der Jahrgangsstufe 10 und wird als einer der wichtigsten Anwendungsbereiche der Informatik beschrieben, wobei Datenstrukturen und Algorithmen als modellhafte Abbildungen der Realität bezeichnet werden (ebd., S. 32). Informatiksysteme werden in diesem Themenbereich als Werkzeuge eingesetzt. Der Rahmenplan für die 10te Klasse des Gymnasiums weist nur auf die Bedeutung von geeigneten (?) Modellen bei der Problemlösung hin. Im Rahmenplan für die Oberstufe wird das Entity-Relationship-Diagramm als Modell bezeichnet.

Brandenburg

Das Fach Informatik kann in Brandenburg in der gymnasialen Oberstufe und im Wahlpflichtbereich der Sekundarstufe I gewählt werden.

Im vorläufigen Rahmenlehrplan für die Oberstufe ([Bra92]) werden bereits zahlreiche Modelltypen erwähnt: Wachstumsmodelle, technische Modelle für eine Ampelsteuerung, Modelle für eine Problemlösung, Black-Box-Modell eines Computers, Schalenmodell der Softwareentwicklung (ebd., S. 33), Rechnermodelle, Automatenmodelle und Benutzermodelle. Modellbildung und die Reflexion von "Modellen der Informatik" werden hervorgehoben. Hier gewinnt man den Eindruck, dass der Modellbegriff einen hohen Stellenwert innerhalb der Informatik hat.

Im neuen Rahmenlehrplan Informatik für die Sekundarstufe I ([Bra02]), an dem der Autor mitwirkte, hat der Modellbegriff einen hohen Stellenwert. So werden Systeme mittels Notationsmodellen modelliert (im Rahmen der Softwareentwicklung), mathematische Modelle simuliert und Modellbildung als "Sichtweise" der Informatik auf die Welt neben Theoriebildung und Design hervorgehoben (ebd., S. 7). Modellierung bildet einen eigenen Inhaltsbereich, der die Grundlagen zur Verwendung und Erstellung von Modellen in der Informatik verdeutlichen soll. Im Rahmenlehrplan werden zahlreiche Modelltypen unterschieden: Algorithmus als formales Modell, Simulationsmodell, klassisches Phasenmodell, Datenmodell, Client-Server-Modell u.a.

Bremen

Das Land Bremen hat Anfang des neuen Jahrtausend einen neuen Rahmenplan Informatik für die Sekundarstufe II erstellt ([Bre01]).

Abstraktion (Modellierung) wird als eine von drei Dimensionen verstanden, die die Informatik auszeichnen und ihre Wurzeln in der experimentellen, naturwissenschaftlichen Methode hat. Entsprechend bildet Informatische Modellbildung einen "Leitgesichtspunkt" für den konkreten Unterricht (ebd., S. 24f). Der sichere Umgang mit mathematischen Symbolen und Modellen wird als eine grundlegende Kompetenz zur Sicherung der Studierfähigkeit hervorgehoben (ebd., S. 5). Informatiksysteme werden ausgehend von (komplexen) Gegenständen aus Natur, Technik und Gesellschaft modelliert (ebd., S. 13ff), wobei mit der Entwicklung eigener Modelle das schöpferische Denken gefördert werden soll. Als schulnahe Definition wird für den Modellbegriff in der Informatik "eine Abbildung eines Ausschnitts der Wirklichkeit bzw. realer Systeme in den Raum zugänglicher Lösungen" empfohlen. Im Rahmen einer Technikfolgenabschätzung können auch Modelle für eine soziale Gestaltung von Arbeit entwickelt werden. Weiter werden genannt: Datenmodell, Modellierung von Verhalten, Modellbildung und Simulation, Parallelrechnermodelle, formales Modell, Validierung von Modellannahmen, Prognose- und Planungsmodelle. Zu den charakteristischen Modellierungswerkzeugen der Informatik werden gezählt (ebd., Anhang A): Programmiersprachen (funktional, prädikativ, imperativ, dokumentenorientiert, deskriptiv), Softwareentwicklungsumgebungen, Softwaresysteme (Anwendungssysteme, graphische Modellierungswerkzeuge à la Stella, Autorentools, ...). Interessant ist die Zuordnung der Leitlinie "Informatische Modellierung" zu verschiedenen Themenbereichen der Informatik und möglichen Zugangslinien (ebd., S. 43). Allerdings ist nicht einsichtig, wieso die Leitlinie für die Themenbereiche 5, 6, 10, 11 und 14 nicht zutreffen soll, obwohl der Modellbegriff in dem Rahmenplan mit einem recht offenen Begriffsverständnis benutzt wird.

Hamburg

Für das Land Hamburg liegt ein Lehrplan Informatik für die gymnasiale Oberstufe aus dem Jahr 1989 ([Ham89]) vor. Derzeit werden allerdings neue Lehrpläne, auch für die Sekundarstufe I, erarbeitet.

In diesem älteren Lehrplan wird der Modellbegriff sehr selten verwendet. Genannt werden: Funktionsmodelle (z.B. zu programmierende Robotermodelle), mathematische, deterministische und stochastische Modelle im Zusammenhang mit Simulation und Datenstrukturen zur Modellierung von Anwendungssituationen.

Hessen

Der Kursstrukturplan für das Fach Informatik in der Oberstufe verweist an verschiedenen Stellen auf die Bedeutung der Modellbildung: im Rahmen der Nutzung des Computers als Werkzeug, als Modell für eine menschengerechte und sozialverträgliche Gestaltung von Technik, zur Beschreibung komplexer Systeme (mittels Abstraktion und formaler Beschreibung) und ihrer Konstruktion im Rahmen der Softwareentwicklung. Als Modelle werden genannt: Automatenmodelle (auch als mathematisches Modell bezeichnet), Rechnermodelle, der von-Neumann-Rechner, Datenbankmodelle, ER-Modell, relationales Modell.

Mecklenburg-Vorpommern

Für den Informatikunterricht in der gymnasialen Oberstufe existiert ein Rahmenplan in der Erprobungsfassung ([Mec01]).

Im Zusammenhang mit dem Aufbau von Datenbanken wird das Entity-Relationship-Modell hervorgehoben und bei der Softwareentwicklung soll die grafische Modellierungssprache UML eingesetzt werden. Im Leistungskurs sollen grafische Objekte modelliert werden. Modellbildung wird vorwiegend als Tätigkeit in der Entwurfsphase des Software-Lebenszyklus verstanden. Als Modelle werden unter anderem genannt: Vierport-Modell, RGB-Farbmodell, die Modellierungssprache UML, Automatenmodell, Maschinenmodell, Grammatikmodell. Problemlösen soll als Arbeiten mit Modellen vermittelt werden.

Niedersachsen

Das niedersächsische Kultusministerium hat 1993 Rahmenrichtlinien für die Realschule ([Nie93]) und für den Informatikunterricht ab der 11. Jahrgangsstufe ([Nie93a]) herausgegeben.

In den Rahmenrichtlinien für die Realschule finden sich Modelle vor allem im Bereich „Modellierung und Simulation“, der der Angewandten Informatik zugeschrieben wird. Als Themenkreise werden Simulation, das Erstellen eines Computerspiels und das Steuern und Regeln mit dem Computer vorgeschlagen ([Nie93], S. 15, 41, 47). Zum Beschreiben eines Lösungsweges soll ein Modell mit unterschiedlichen Darstellungsmöglichkeiten entwickelt werden (ebd., S. 13). Das Modell eines dynamischen Systems wird für eine Computersimulation in ein mathematisches oder formallogisches Modell mittels einer formalen Sprache umgesetzt. Abweichungen des Modells von der Wirklichkeit und auch die Rolle des Modellentwicklers sollen erfahren werden. (ebd., S. 15). Funktionsmodelle sollen gesteuert werden (ebd., S. 55).

Als Werkzeuge und Methoden der computergestützten Informationsverarbeitung bezeichnen die Oberstufenpläne: Techniken zur Modellierung von Problemstellungen, Simulation von erkenntnisorientierten Modellen, u.a. ([Nie93a], S. 4ff). Grundlegende Modellvorstellungen von Computersystemen sollen für deren Nutzung erworben werden, unter anderem Rechnermodelle (z.B. das von-Neumann-Konzept). Automaten werden als Modelle verstanden (ebd., S. 15). Grenzen der Modellierung sollen behandelt werden. Modelle werden zur softwaretechnischen Entwicklung eingesetzt. Bei Datenbanksystemen wird das relationale Datenmodell und ein semantisches Modell (z.B. das ER-Modell) behandelt (ebd., S. 25). Fachfremde Modelle werden simuliert (ebd., S. 27).

Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen kann Informatik im Wahlpflichtbereich der Sekundarstufe I und in der Oberstufe als Wahlpflichtfach belegt werden. In der Realschule wird Informatik in den Klassen 5 - 10 angeboten.

Die nordrhein-westfälischen Richtlinien zur Informatik in der Sekundarstufe I ([Nor93]) nennen Modellbildung als ein grundlegendes Ziel des Informatikunterrichts, wobei Modellbildung als Teilphase der Simulation verstanden wird. Simulation wird als ein im Wesentlichen vierphasiger Zyklus charakterisiert, zum Zwecke der Nachbildung von Vorgängen auf Rechenanlagen (ebd., S. 40):

- Analyse der zu simulierenden Vorgänge der Realwelt,
- Entwicklung eines Simulationsmodells (vom umgangssprachlichen zum mathematischen)
- Durchführung der Simulation mit einem geeigneten Werkzeug sowie
- Interpretation und kritische Beurteilung der Simulationsergebnisse

Zum Verständnis der Arbeitsweise des Computers sollen die Schüler eine Modellvorstellung zum Zusammenspiel von Hardware und Software entwickeln, die über das reine Anwenden von Informatiksystemen hinausgeht (ebd., S. 39). Zwar wird das Phasenmodell zur Softwareentwicklung erwähnt, aber es wird für diese Alterstufe als nicht angemessen eingestuft.

In den nordrhein-westfälischen Oberstufenrichtlinien ([Nor99]) wird Modellbildung im Sinne von "ein Informatikmodell gewinnen" zu einer durchgehenden fachspezifischen Methode des Informatikunterrichts. Die fachlichen Inhalte werden unter den Gesichtspunkten "Modellieren und Konstruieren" und "Analysieren und Bewerten" geordnet. Im ersteren gilt es, ein Informatikmodell zu gewinnen, dieses mittels Daten und Algorithmen zu abstrahieren und anschließend zu implementieren. Das Informatikmodell beschreibt das konzeptionelle Gerüst des zu erstellenden Informatiksystems (ebd., S.12). Dies entspricht der Anforderungsdefinition und der Spezifikation in einem Phasenmodell oder den OOA- und OOD-Modellen des objektorientierten Vorgehensmodells im Softwareentwicklungsprozess. Zur Entwicklung des Modells sollen informatiktypische Modellierungstechniken verwendet werden (ebd., S. 7): strukturierte Zerlegung oder oo-Analyseverfahren (die nicht explizit genannt werden), Algorithmisierung und sprachliche Beschreibung. Ein Verständnis von Automatenmodellen soll den Modellbildungsprozess unterstützen. Weitere Modelle, die aufgezählt werden, sind: Maschinenmodelle, Datenbankmodelle, Kommunikationsmodelle, Programmiermodelle (funktional, logisch, prozedural, objektorientiert).

Rheinland-Pfalz

Der untersuchte Lehrplanentwurf aus Rheinland-Pfalz wurde 1993 veröffentlicht und bezieht sich auf die Oberstufe des Gymnasiums ([Rhe89]).

Die Modellierung eines Problems (im Sinne der Algorithmisierung) im Kontext der Formalisierung und Automatisierung geistiger Arbeit wird als eine Methode der Informatik gesehen, wobei Sinn und Grenzen von Modellierung betrachtet werden (ebd., S. 9, 19). Mit graphischer Modellbildung ist die Verwendung von Darstellungsformen für Wirkungszusammenhänge im Kontext der Simulation von Systemen gemeint (ebd., S. 24). Genannt wird: ein Datenflussmodell (ebd., S. 27), das Computermodell des von Neumann-Rechners (ebd., S. 30), der endliche Automat als Modell (ebd., S. 35).

Saarland

Im Saarland kann Informatik in Kombination mit Wirtschaft in der erweiterten Realschule in der Klasse 9 im Wahlpflichtunterricht (Schwerpunkt: Kommunikationstechnik) ([Saa01]) und in der Oberstufe als Grund- und Leistungskurs in den Jahrgangsstufen 11 - 13 gewählt werden. In der Klasse 5 ist eine Informationstechnische Grundbildung vorgesehen.

Zum Oberstufenunterricht lag uns nur eine Web-Version vor, die von Arno Schwarz in der Zentrale für Unterrichtsmedien (ZUM) koordiniert wird ([Saa92]). Im Rahmen des Übersetzerbaus (Klasse 13) wird von einem (abstrakten) Modell für eine Zielmaschine gesprochen, für die einfache Programme geschrieben werden sollen. In der Klasse 12 (Leistungskurs) findet sich der Modellbegriff im Kontext von "Modellbildung und Simulation". Zur Modellbildung werden mathematische Beschreibungen (Modelle) und graphische Beschreibungen von Modellen unterschieden, die zu einem "Simulationsalgorithmus" führen.

Sachsen

In den Mittelschulen Sachsens ist Informatik von den Klassen 7 bis 10 (Hauptschulgang) bzw. 9 bis 10 (Realschulgang) ein Pflichtfach. An den Gymnasien ist Informatik in der Klasse 7 verbindlich und in den Klassen 8 bis 12 ein Wahlpflichtfach.

Auf der Web-Seite zum Sächsischen Lehrplan ([Sac92]) werden Modelle zur Strukturierung von Daten und Information genannt: Datenbankmodelle, ER-Modell und Relationenmodell zur Entwicklung von Datenbanken, Struktogramm als Modellierungsverfahren im Software-Lebenszyklus, 3-Schichtenmodell zum Datenaustausch. Der bei der ZUM vorliegende Lehrplan für die Gymnasien von 1992 ([Sac92a]) benutzt den Modellbegriff nur in der Formulierung von allgemein-didaktischen Zielen.

Sachsen-Anhalt

Für Sachsen-Anhalt liegt eine im Internet veröffentlichte Entwurfssfassung der Rahmenrichtlinien Informatik für die Oberstufe des Gymnasiums vor ([San02]), Stand: 03.2002).

Informatische Modellierung wird als eine Leitlinie der GI genannt. Die Techniken des informatischen Modellierens werden als wesentliche Grundlage für die Entwicklung von Informatiksystemen bezeichnet, welche das Erlernen einer Programmiersprache einschließt (ebd., S. 9). Durch Modellierung soll die Struktur eines Problems sichtbar werden und zum Lösungsmodell führen. Informatisches Modellieren wird in Phasen ähnlich der Softwareentwicklung gegliedert. Bei den Themen wird unterschieden zwischen informatischem Modellieren sowie Modellbildung und Simulation (ebd., S. 13), wobei letzterem die doppelte Stundenanzahl zukommt. Als Inhalt genannt werden ein Schichtenmodell (Schalenmodell) der Rechneranlage (ebd., S. 16) und für Protokollebenen (ebd., S. 22), lizenzrechtliche Modelle (ebd., S. 19), Simulationsmodelle, Wachstumsmodell, Modelle endlicher Automaten (ebd., S. 39). (Simulations-) Modelle sollen klassifiziert, simuliert, modifiziert und teilweise validiert werden (ebd., S. 31f). Funktionale Modelle werden zum Thema „Analyse und Design eines Informatiksystems“ eingesetzt und sollen gesteuert werden (ebd., S. 33). Im Rahmen der Computergrafik werden Farbmodelle betrachtet (ebd., S. 35).

Schleswig-Holstein

Für Schleswig-Holstein liegt eine Anhörungssfassung des Lehrplans Informatik vor ([Schle]), in dem es nur heißt: Datenbestände sind modellorientiert zu strukturieren, Modellbildung ist ein Bestandteil der Problemlösung, zahlreiche Modelle aus der Mathematik werden in die Informatik übernommen.

Thüringen

In den Regelschulen wird Informatik als Wahlfach in den Klassen 8 bis 10, an den Gymnasien in Klasse 8 und 9 angeboten. Als Grund-/Leistungsfach kann Informatik in der gymnasialen Oberstufe in den Klassen 11 und 12 gewählt werden.

In der Entwurfssfassung zum Wahlfach Informatik ([Thue01]) wird Modellbildung als ein Prinzip der Fachwissenschaft Informatik, als zentrales Element des Problemlösens, hervorgehoben. Schüler

sollen Verständnis für informationelle Modelle entwickeln, Datenmodelle mittels ER-Modelle erstellen und reale Automaten modellieren. In dem gymnasialen Plan wird der Modellbegriff wie folgt verwendet: von-Neumann-Rechnermodell, Schichtenmodell für den Datenaustausch, Modellierung einfacher realer Vorgänge im Blockschaltbild, endliche Automaten als Modelle von realen Automaten, Modellierung als Phase der Softwareentwicklung, Schichtenmodell, Modell Turingmaschine, relationales Datenmodell.

Fazit

In zahlreichen Kontexten der deutschen Lehrpläne wird der Begriff Modell explizit (Maschinenmodell, Automatenmodell, Datenaustausch- und Kommunikationsmodelle, Datenmodelle u.a.) oder implizit (Computersimulation, Objektdiagramm, Interaktionsdiagramm) angewandt, ohne jedoch i.d.R. Modelle und unterschiedliche *Modelltypen* in der Informatik zu thematisieren. Das Begriffsverständnis zu einzelnen informatischen Modellen fällt in den Lehrplänen, ebenso wie das Verständnis zum informatischen Modellieren, recht unterschiedlich aus. Zudem wird häufig nur allgemein von Modellen, Modellierung oder Modellierungstechniken gesprochen. Details zu einzelnen Begriffen werden i.d.R. als bekannt vorausgesetzt. Erkennbare Schwerpunkte zu Modellen im Informatikunterricht sind: Datenmodelle, Automaten, Datenstrukturen, Algorithmen und das Phasenmodell. Das Entity-Relationship-Modell wird in den meisten Lehrpläne genannt. Während Lehrpläne zu Beginn der 90iger Jahre Funktionsprinzipien, Datenstrukturen und Algorithmen als Modelle bezeichnen, zeigt sich in neueren Lehrplänen eine Tendenz, (graphische) Entwurfsmodelle im Rahmen der Softwareentwicklung als Schwerpunkt für den Informatikunterricht zu sehen. Eine Legitimation informatischer Modelle erfolgt zwar gelegentlich aus der Fachwissenschaft, selten jedoch im Hinblick auf eine Allgemeinbildung.

Zusammenfassung

Der Informatikunterricht hat sich seit dem Einzug in die Schulen mehrfach in seiner inhaltlichen und methodischen Ausgestaltung gewandelt. Eine Ursache dürfte ein bis heute fehlendes allgemein anerkanntes Verständnis der Wissenschaft Informatik sein. Spätestens seit den anwendungsorientierten Ansätzen zum Informatikunterricht werden Modelle und Modellbildung als bedeutende Komponenten eines Informatikunterrichts betont. Dabei bleibt jedoch ungeklärt, ob das Wesen der Wissenschaft Informatik durch die ausgewählten Modelltypen und Modellbildungstechniken im Informatikunterricht angemessen repräsentiert wird, oder diese nur dem aktuellen Verständnis von Informatikunterricht entgegenkommen. Sowohl die fachdidaktischen Überlegungen als auch der Informatikunterricht in den Schulen sind von einem uneinheitlichem Begriffsverständnis zum "Modell" gekennzeichnet, welches zu unterschiedlichen Zielsetzungen und Inhalten in den Lehrplänen führt. Es fehlen i.d.R. ausreichende didaktisch-methodische Konkretisierungen und zugehörige empirische Studien. Eine Legitimation der Verwendung von Modellen erfolgt – wenn überhaupt – aus fachwissenschaftlicher Sicht, selten aus allgemeindidaktischer Perspektive. Um allgemeinbildende Elemente der Informatik herauszuarbeiten, werden vor allem die Allgemeinbildungsbegriffe von Klafki und von Bussmann/Heymann eingesetzt, die Allgemeinbildung an bestimmten Merkmalen festmachen, insbesondere an einer Auseinandersetzung mit Kultur. Der Wissenschaft Informatik ist zumindest ein kulturtechnischer Charakter zuzuschreiben. Erkenntnisse und Produkte der Informatik scheinen Kultur zu beeinflussen und zu produzieren.

Um die Bedeutung von informatischen Modellen für die allgemeinbildende Schule herauszuarbeiten, gilt es zunächst das Begriffsverständnis zum „Modell“ innerhalb der Fachwissenschaft zu klären.

➔ Frage 1: Welche Modelle und Modelltypen sind in der Informatik von Bedeutung?

Zwar wird die "Informatische Modellbildung" häufig als eine Säule der Legitimation des Schulfaches Informatik benannt, doch bleibt der spezifische Beitrag zur Allgemeinbildung im Rahmen eines Schulfachs Informatik weitestgehend ungeklärt. Daher folgt

➔ Frage 2: Warum soll sich ein Schüler mit (bestimmten) Modellen der Informatik auseinandersetzen?

In der Vergangenheit haben auch andere Fachdidaktiken – insbesondere die Naturwissenschaften – die Modellbildung als einen allgemeinbildenden Kern ihrer Fachwissenschaften ausgewiesen. Um den Stellenwert des relativ neue Schulfachs Informatik im Stundenplan der allgemeinbildenden Schulen zu rechtfertigen, ergibt sich

➔ Frage 3: Was bietet der Informatikunterricht gegenüber anderen Schulfächern bezüglich der Modellbildung Neues?

Diese Fragen bilden den Ausgangspunkt meiner Arbeit. Es ist sicherlich unrealistisch zu erwarten, dass die Untersuchungen vollständige Antworten liefern werden, jedoch sehe ich einen Beitrag zur Präzisierung des Modellbegriffs innerhalb der Informatik und zur Relevanz einer "informatischen Modellbildung" als Leitlinie, die alle allgemeinbildenden Schulstufen umfasst.

II Modellieren von Modellen – eine menschliche Tätigkeit

*„Ein Problem wird nicht im Computer gelöst,
sondern in irgendeinem Kopf.
Die ganze Apparatur dient nur dazu,
diesen Kopf so weit zu drehen,
dass er die Dinge richtig und vollständig sieht.“*

Charles Kettering, amerikanischer Industrieller

*„Früher war der Mensch Herr seines Wissens.
Heute ist das Wissen sein Gebieter.“*

John Steinbeck, amerikanischer Schriftsteller

Wir werden zeigen, dass die informatische Modellbildung in einem Informatikunterricht einen besonderen Beitrag zur Ausbildung einer allgemeinen Modellierungskompetenz leisten kann. Dazu werden wir in Kapitel III das Modellverständnis innerhalb der Wissenschaft Informatik analysieren und zum Modellieren von Modellen im Allgemeinen in Bezug setzen. Es muss jedoch zunächst geklärt werden, was im Allgemeinen unter Modellen verstanden wird und welche Bedeutung das Modellieren von Modellen für den Menschen hat.

Zu diesem Zweck führen wir eine etymologische Betrachtung zum Modellbegriff in der deutschen Sprache durch, zeigen kulturhistorische und psychologische Anknüpfungspunkte zur Verwendung von Modellen durch uns Menschen auf und stellen Klassifikationsansätze zum Modellbegriff im Allgemeinen dar. Damit beugen wir einerseits einer zu frühen Einengung des Begriffs auf den Bereich der Informatik vor und weisen andererseits das Modell als Kulturgut bzw. das Modellieren als Kulturtechnik nach. Dabei gilt es verwandte Begriffe zu erläutern und abzugrenzen.

1. Wortgeschichtlicher Überblick

Die Verwendung der Begriffe "Modell", "modellieren", "Modellbildung" und ihrer Flexionsformen ist im gegenwärtigen Sprachgebrauch sehr populär. Es gibt heute kaum noch einen Bereich des öffentlichen und wissenschaftlichen Lebens, in dem nicht von Modellen die Rede ist, jedoch zeigt bereits eine oberflächliche Betrachtung individueller Alltagserfahrungen, dass mit dem Begriff und dem Phänomen recht unterschiedliche Vorstellungen verbunden sind (man denke z.B. an das Modell des Malers und das Modell des Architekten). Die Ursachen liegen zum einen in der bemerkenswerten Geschichte des Wortes und zum anderen in den begrenzten Fähigkeiten des Menschen, durch die er gezwungen ist, sich für alle Bereiche der Welt (häufig unbewusst) Modelle bilden zu müssen.

Das heutige deutsche Wort "Modell" lehnt sich etymologisch an den lateinischen Begriff "modulus" an, ebenso wie das französische Substantiv "modèle" und das italienische modello. Der Begriff "modulus" steht im Lateinischen für "'kleines' Maß, Maßstab" und ist die Verkleinerungsform von "modus" (Maß, Normmaß, Art, Weise). "Modus", "modulus" und verwandte Wörter waren bei den alten Römern vor allem für Reden, Stimmen, Töne und in der Baukunst in regem Gebrauch ([Muel83], S. 23). Nach Herbert Stachowiak geht das lateinische Substantiv "modus" auf die griechisch-lateinische Wurzel "med/mod" und diese wiederum auf die

indo-germanische Wurzel *"*meH"* zurück, die nicht nur für "Maß" sondern auch für "an etwas denken, erwägen oder ermessen" stehen kann ([Sta73], S. 129).

In der antiken Baukunst stand "modulus" für "technisches Grundmaß" und wurde unter anderem bei der Anlegung von Säulen verwendet. Umherziehende römische und südfranzösische Werkleute führten vermutlich in der Zeit von Karl dem Großen zu der Einführung der Begriffe "modul" und "model" ins Frühhochdeutsche. Im Althochdeutschen werden die Begriffe "modul" und "model" auch im erweiterten Sinne als "Muster", "Form" und "Vorbild" für zumeist gewerbliche Dinge (Gussmodel, Schnittmodel, Leiste des Schusters) benutzt. Die abgeleiteten Verben "modelln" bzw. "modelen" stehen für das Gestalten nach einem Muster oder Vorbild. Das "Model" im Sinne des Photomodells leitet sich aus dem Englischen ab ([Bro94], S. 706).

Ein zweiter Entlehnungsprozess begann im 16. Jahrhundert mit der Verwendung von "Musterformen" aus Gips oder Blei im Handwerk. Da diese Rohstoffe aus Italien bezogen wurden, bezeichnete man eine entsprechende Form, in Anlehnung an das italienische "modello", als "modell". Dieser Begriff setzte sich anschließend in Künstlerkreisen und in der Literatur durch und verdrängte zunehmend die alte Entlehnung "model". Er wird im weiteren Sinne synonym gebraucht für Beispiel, Typ und Vorform ([Fla76], [Muel83]).

Wortgeschichtlich ist der Begriff "Modell" demnach aus einer handwerklich-künstlerischen Tradition entstanden. In der heutigen deutschen Sprache ist das Wort "Modell" jedoch in weit umfangreicheren Sinne in Gebrauch.

2. Modellieren – eine Kulturtechnik

Das Arbeiten mit Modellen ist wesentlich älter als die Verwendung der Begriffe "modell" und "model" in der deutschen Sprache. Insbesondere das Denken mit Modellen bzw. Modellvorstellungen als heuristische Methode der Weltbewältigung lässt sich seit Beginn der Menschheitsgeschichte aufzeigen.

Eine interessant zu lesende Übersicht "Zur Geschichte des Modelldenkens und des Modellbegriffs" liefert Roland Müller ([Muel83]). Er zeigt auf, dass der Erstellung von handwerklich-künstlerischen Modellen stets eine "Modellvorstellung" im Kopf des Herstellers vorausgehen muss. Darauf deuten bereits nur teilweise bearbeitete Feuersteine der Altsteinzeit, die als Rohlinge für das eigentliche Werkzeug angefertigt wurden (Prototypen). In Religionen und Mythen stehen Modelle wie Idole oder Amulette für Konkretisierungen von komplexen Ideen, Handlungen und Deutungen der Welt. Derartige Denkmodelle sind nach Karl Steinbuch "ein notwendiger methodischer Trick des menschlichen Denksystems, um mit Sachverhalten fertigzuwerden, die seine Kapazität eigentlich überschreiten." ([Ste77], S. 12). Andererseits können vorhandene Denkmodelle das Verstehen von Phänomenen behindern, wenn die Bildung neuer Denkmodelle mit diesen nicht vereinbar ist oder durch diese erschwert wird. So wurde im 19. Jahrhundert Elektrizität zunächst mit mechanischen Denkmodellen erklärt. Ein anderes Beispiel sind die Konflikte von Kopernikus, Kepler und Galilei mit der katholischen Kirche, da beispielsweise die neuen Denkmodelle vom Planetensystem nicht mit einer zentralen Position des Planeten Erde in Einklang zu bringen waren. Denkmodelle werden nach Steinbuch durch drei Aspekte geprägt: die abzubildende Realität, den Vorrat an verfügbaren Modellen und das spezifische Problem, zu dessen Lösung das Modell benutzt wird. Doch Modelle müssen nicht zwingend Abbilder der Realität sein. Das Modell eines Freiheitsbegriffs oder das Modell einer "perfekten Schule" entspringen mehr den Vorstellungen als der Realität. Daher ist es im Allgemeinen zweckmäßiger bei Modellen von Originalen statt von einer Realität zu sprechen.

Die Definitionen zum "Modell" in einschlägigen, deutschen Lexika zeigen die vielfältige kulturelle Verankerung des Modellbegriffs in unserer heutigen Welt. In den Enzyklopädien von Brockhaus und Meyer ([Bro94], S. 706; [Mey72], S. 364) wird beispielsweise, neben der allgemeinen Definition des Modells als Muster, Entwurf, Vorbild oder Beispiel, ein unterschiedliches Begriffsverständnis in den Anwendungsbereichen beschrieben. Es zeigt sich, dass selbst innerhalb einzelner Fachbereiche eine unterschiedliche Verwendung des Modellbegriffs auftritt.

In der Kunst ist ein Modell entweder ein Gegenstand der Natur (der Realität), der als Vorbild für das künstlerische Werk dient (Modell für z.B. ein Gemälde), oder eine stereometrisch genaue Vorform für das eigentliche Kunstwerk (z.B. eine Gipsform für eine Metallglocke), wie er ab dem 16. Jahrhundert im künstlerisch-handwerklichen Bereich verwendet wurde. Andererseits kann man auch das Gemälde selbst als Modell für einen Realitätsausschnitt bezeichnen, also ein Modell für ein Modell. In der Technik, den Ingenieurwissenschaften und der Architektur werden meist Objekte in einem verkleinerten oder einem vergrößerten Maßstab zu Anschauungs- oder Forschungszwecken als Modelle bezeichnet. Dieses Verständnis kommt dem ursprünglichen Modellbegriff (vgl. S. 22) sehr nahe. Auch Pläne, Entwürfe und Modellvorstellungen können im weiteren Sinne als Modelle bezeichnet werden. Modelle in Form von Vorlagen und Mustern wurden auch in der eiszeitlichen "Kunstschule" der Höhlenmalereien verwendet. Zum einen wurden Muster in Form von gravierten Kieselsteinen oder Knochen weitergegeben und zum anderen ritzen die Höhlenbewohner zunächst ihre Entwürfe in den Stein, bevor sie diese farblich gestalteten. Gesten, Signale und bildartige Zeichen können als Kommunikationsmittel gesehen werden, die letztlich in komplexen Sprachen und Schriften mündeten.

In den Naturwissenschaften findet sich der Modellbegriff ab dem 19. Jahrhundert vor allem in zweierlei Bedeutung. Zum einen wird er als "ein Abbild der Natur unter Hervorhebung für wesentlich erachteter Eigenschaften und Außerachtlassen als nebensächlich angesehener Aspekte" ([Bro94], S. 706) aufgefasst. In diesem Sinne dient ein Modell der Beschreibung der erfahrenen Wirklichkeit. Auf Beobachtungen und Experimenten aufgestellte naturwissenschaftliche Hypothesen sind Modelle, theoretische Entwürfe, dieser wahrgenommenen Wirklichkeit. Andererseits lenkt die Hypothese die Beobachtung und das Experiment. Die Wirklichkeit selbst ist dabei meist nicht fassbar, deshalb bedient man sich eines Modells. Ob die Wirklichkeit überhaupt erkennbar ist, wird wohl eine philosophische Streitfrage bleiben. Hypothesen sind, wie alle Modelle, zeitlich beschränkt gültig und müssen gegebenenfalls angepasst oder verworfen werden.

Zum anderen werden Modelle zur Veranschaulichung unter Verwendung von Analogien eingesetzt. Isaac Newton hat beispielsweise für optische Erscheinungen ein mechanisches Modell angegeben, um ein Verständnis der Optik durch Ähnlichkeiten zwischen den zugrundeliegenden Gesetzen zu erzielen (vgl. [Fre61a], S. 90).

Ziel beider Modelltypen ist nicht nur die Erklärung von naturwissenschaftlichen Phänomenen, sondern auch die Aufstellung von Vorhersagen für ähnliche Erfahrungsbereiche.

Die um 1950 entwickelte Modelltheorie(!) in der mathematischen Logik beschäftigt sich mit Modellen im Zusammenhang mit der Untersuchung der relativen Widerspruchsfreiheit von Axiomensystemen oder dem Beweis der Unabhängigkeit von Axiomen. Ein Modell im Sinne der mathematischen Modelltheorie ist eine gültige Interpretation einer Struktur: "A possible realization in which all valid sentences of a theory T are satisfied is called a model of T" ([Tar77]). Beispielsweise bilden rationale oder reelle Zahlen mit jeweils der Addition und Multiplikation als Verknüpfung Modelle für die Struktur des mathematischen Körpers.

In der angewandten Mathematik werden Modelle erstellt, die unter Verwendung von Symbolen Zusammenhänge der Realität beschreiben. Diese mathematischen Modelle sind in der Regel stark abstrahierend und lassen keinen direkten Bezug zum Original erkennen. Allenfalls lässt sich aus einem Variablennamen eine Bedeutung herleiten, die aber wieder an das sprachliche Verständnis

eines Subjekts gebunden ist. Die Modelle sind statischer Natur, auch wenn sie dynamische Zusammenhänge beschreiben.

In den Wirtschaftswissenschaften werden Modelle zur Abbildung und zur Vorhersage von Wirtschaftsabläufen verwendet. Es lassen sich zwei wesentliche Modelltypen unterscheiden: wirtschaftstheoretische Modelle und ökonometrische Modelle. Wirtschaftstheoretische Modelle werden in Partial- und Total-Modelle, mikro- und makroökonomische, sowie statische und dynamische Modelle unterschieden. Sogenannte ökonometrische Modelle basieren auf den wirtschaftstheoretischen Modellen, wenden diese in der Realität an und enthalten zusätzlich stets Zufalls- oder Störvariablen, die für unbekannte Einflüsse stehen.

Die Sozialwissenschaften verwenden Verhaltens-, Interaktions-, Lehr-Lern-Modelle u.a. zur Weiterentwicklung und Überprüfung von Theorien, indem in idealisierender Weise wesentliche Strukturbeziehungen für einen Realitätsbereich aufgestellt werden. Die mit diesen Modellen entwickelten Prognosen werden an der Realität evaluiert und für Entscheidungsprozesse verwendet.

In den Literaturwissenschaften ist das Modell "seinem Wesen nach als eine heuristische Kategorie zu deuten" ([Fla76], S. XIII).

Es ist praktisch unmöglich, alle Facetten des Modellbegriffs in unserer Kultur aufzuzeigen. Für die meisten anderen Wissenschaftsbereiche lassen sich in analoger Weise vorherrschende Anwendungsgebiete und Begriffsverständnisse feststellen, die durch die jeweiligen Techniken und Sichtweisen der Wissenschaften bestimmt sind. Für die Informatik ist jedoch ein weitaus umfassenderes Modellieren von Modellen zu erwarten, da die Informationsverarbeitung (mit Modellen) und ihre Automatisierung wesentlicher Inhalt dieser Wissenschaft ist. Die Schwierigkeit der Einordnung der Informatik in den Wissenschaftskanon (s. III 1.1) macht die Untersuchung des Modellverständnisses innerhalb dieser Fachwissenschaft besonders interessant.

3. Allgemeine Modelltheorie

Wenn wir klären wollen, welche Modelle in der Informatik vorkommen und welches Verständnis Informatiker zu dem Modellbegriff haben, können wir aus methodischen Gründen nicht von einer Definition des "Informatischen Modells" oder des "Informatischen Modellierens" ausgehen, sondern müssen einen allgemeineren Ansatz verwenden, wie ihn beispielsweise Stachowiak ([Sta73]) mit der Allgemeinen Modelltheorie (AMT) vorgelegt hat. Da dieses Werk innerhalb der Auseinandersetzung zu Modellen im Allgemeinen und im Speziellen offensichtlich eine herausragende Leistung ist¹³, werden wir ihm besondere Aufmerksamkeit zukommen lassen. Ergänzend werden Versuche zur Klassifikation von Modellen dargestellt, so dass mehrere Systematiken für die sich anschließenden Untersuchungen zum Modellbegriff innerhalb der Fachwissenschaft Informatik zur Verfügung stehen.

Mit der Veröffentlichung der "Allgemeinen Modelltheorie" (AMT) hat Herbert Stachowiak 1971 die wesentlichen Aspekte eines allgemeinen Modellbildungsprozesses untersucht und zu einer "modellistischen" Erkenntnistheorie zusammengefasst. Die AMT ist Bestandteil des Systematischen Neopragmatismus, einer Erkenntnis- und Methodenlehre, die deutlich Wahl und Entscheidung des Subjekts berücksichtigt, d.h. der Modellbildungsprozess wird nicht als trivialer Abbildungsvorgang zwischen Original und Modell verstanden, sondern als eine Relation zwischen

¹³ Diese Einschätzung ergibt sich, da uns zum einen kein vergleichbares Werk bekannt geworden ist und sich zum anderen die meisten Untersuchungen zu Modellen auf dieses Werk stützen.

Original, Modell und Subjekt. Nach sorgfältiger Reflexion bestehender Alternativen trifft das Subjekt Entscheidungen, die zu bestimmten Modellierungsoperationen führen. Mit der AMT beinhaltet der Systematische Neopragmatismus eine Systematik, die einen annähernd vollständigen Überblick über Modelltypen enthält und damit für die Suche und Einordnung von informatischen Modellen geeignet erscheint. Stachowiak weist zwar darauf hin, dass die aus einer allgemeinen Begriffsanalyse entwickelte Struktur der AMT nicht vollständig ist (ebd., S. 128), sie wurde jedoch hinreichend breit angelegt, so dass sie eine geeignete „Schablone“ darstellt.

Stachowiak selbst beschreibt den Weg zum Systematischen Neopragmatismus über die Philosophien des Empirismus, des Konventionalismus und des Pragmatismus ([Sta83a], S. 87ff)¹⁴. Der Systematische Neopragmatismus basiert einerseits auf dem sogenannten „pragmatischen Entschluss“ und andererseits auf dem „Modellkonzept der Erkenntnis“. Der pragmatische Entschluss besagt, dass Erkenntnisstreben nicht „um der Erkenntnis willen“ erfolgt, sondern stets an Intentionen (Absichten, Zwecken, Zielen) eines Subjekts oder einer Gruppe gebunden ist. „Neo“ kennzeichnet, dass Auswahl und Entscheidung im Erkenntnisprozess nicht intuitiv-pragmatisch, sondern auf Grund sorgfältiger Reflexion bestehender Alternativen erfolgt. Das Modellkonzept der Erkenntnis geht davon aus, dass alle Erkenntnis letztendlich Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle ist, also jegliche Auseinandersetzung des Menschen mit der Welt des Mediums „Modell“ bedarf. Insofern lässt sich die Lehre des Systematischen Neopragmatismus auch als Modellismus bezeichnen.

3.1 Was ist ein Modell?

In den Ausführungen zur Wortgeschichte und zur kulturellen Verankerung des Modellbegriffs in unserer Gesellschaft wurde bereits deutlich, dass die Frage "Was ist ein Modell?", an hundert Personen gestellt, etwa ebenso viele Antworten hervorbringen würde. Lediglich für das Modell im Sinne der mathematischen Modelltheorie ist eine eindeutige Definition festgelegt worden. Es lassen sich jedoch einige Gemeinsamkeiten aller Modelle feststellen.

Als direkter Vorläufer der AMT gelten Arbeiten von Apostel ([Apo60]) zur Funktion von Modellen in den (empirischen) Wissenschaften. Apostel nennt vier Parameter, die die strukturellen Beziehungen im Modellbildungsprozess charakterisieren:

"Let then $R(S,P,M,T)$ indicate the main variables of the modelling relationship. The subject S takes, in view of the purpose P , the entity M as a model for the prototype T ... Model and prototype can belong to the same class of entities or to different classes of entities." (ebd., S. 4)

Es folgt zum einen, dass ein Modell zum Original werden kann, und zum anderen, dass ein Original nicht zwingend aus der "Wirklichkeit" stammen muss. Insbesondere können Modelle über mehrere Modellbildungsprozesse miteinander in Beziehung stehen, d.h. ein Modell kann sowohl Abbild für das eine als auch Vorbild für das andere sein.

Modelle sind also Bestandteile eines Prozesses, in welchem sie von einem Subjekt zu einem Original für einen bestimmten Zweck konstruiert und eingesetzt werden. Dieser Prozess wird als Modellbildung bezeichnet. Der Zweck ist stets extrinsisch oder intrinsisch an das Subjekt gebunden, so dass die Intention eines Modelleinsatzes auch als Attribut des Subjekts aufgefasst

¹⁴ Zum Empirismus zählen die Philosophien, die den Grundsatz vertreten, alles Wissen entstamme der sinnlichen Erfahrung. Untersuchungsgegenstand dieser Philosophien ist die Frage, wie man aus diesen Tatbeständen zu allgemein gültigem Wissen gelangt. Philosophien, die davon ausgehen, dass alles Wissen in Form von Begriffen, Gesetzen usw. letztlich auf Vereinbarung beruhen, mit dem Zweck von Bequemlichkeit, Einfachheit usw., werden zum Konventionalismus gezählt. Im Mittelpunkt des Pragmatismus steht die These, dass unsere Vorstellungen, Begriffe und Aussagen keine Abbilder der objektiven Realität sind, sondern Regeln für das praktische Verhalten sind. Wahrheit liegt nicht in der Übereinstimmung von Aussagen und objektiven Sachverhalten, sondern allein im praktischen Nutzen.

werden kann und der Modellbildungsprozess durch eine dreistellige Relation (Abb. 2) beschrieben wird (vgl. [Wues63], S. 1514ff).

Als ein Ergebnis seiner Analyse zum Modellbegriff hat Stachowiak drei wesentliche Merkmale herausgestellt, die im Grunde für alle Modelle zutreffen, und von ihm zu einer formalen Modelltheorie ausgebaut werden ([Sta73], S. 131ff):

- Abbildungsmerkmal

“Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.”

Als Original wird jede Entität aufgefasst, die von einem auf Wissensvermehrung intendierten, natürlichen oder künstlichen Subjekt erfahrbar ist. Abbildung meint hier eine (formal beschreibbare) Zuordnung von Originalattributen zu Modellattributen.

- Verkürzungsmerkmal

“Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und /oder Modellbenutzern relevant erscheinen.”

Diese partielle Inkongruenz zwischen Original und Modell impliziert, dass es unterschiedliche Modelle des gleichen Originals und umgekehrt geben kann. Zum Vergleich von Original und Modell bzw. der Interpretation von Modellverhalten sollte dem Subjekt bekannt sein, welche Originalattribute vom Modell erfasst werden und welche nicht. Insbesondere letzteres setzt die Kenntnis aller Attribute von Original und Modell voraus, was meist nicht gegeben ist.

- Pragmatisches Merkmal

Wenn mehrere Modelle für ein Original existieren, dann gilt auch:

“Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion

- a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte,*
- b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und*
- c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.”*

Modelle sind nicht nur “von etwas” sondern auch “für etwas”. Sie sind stets subjekt-, zeit- und zweckgebunden.

Ein Modell ist auch als System auffassbar, wenn man unter einem System die Zusammenfassung mehrerer Elemente versteht, die in irgendeiner aber bestimmter Weise miteinander in Beziehung stehen, wobei es durch seine Funktionalität eine als Ganzes aufzufassende Einheit darstellt, mit offenen, teilweise geschlossenen oder vollständig geschlossenen Grenzen zu seiner Umwelt. Ein System (z.B. das natürliche Ökosystem) ist jedoch nicht zwingend ein Modell.

Merkmale, Eigenschaften und Relationen von Systemkomponenten bezeichnen wir als Attribute. Von einem Modell für ein Original kann dann gesprochen werden (vgl. [Sta73], S. 139), wenn

- einige Originalattribute fortgelassen werden (Präterition),
- einige Modellattribute zusätzlich eingeführt werden (Abundanz),
- einige Originalattribute mit anderen Bedeutungen belegt werden (Transkodierung) oder
- einige Originalattribute hervorgehoben werden (Kontrastierung).

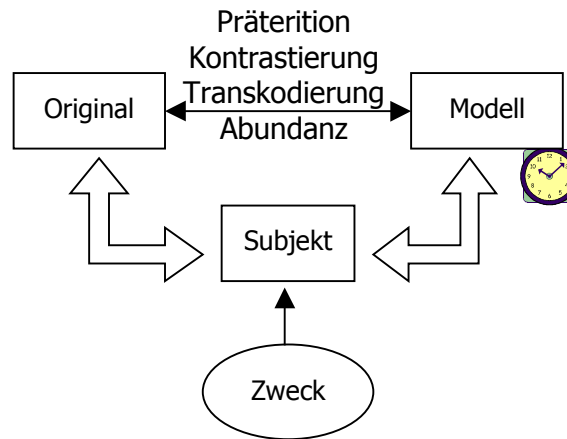


Abb. 2 Modellbildungsprozess und Beziehungen zwischen Original und Modell

Im Jahre 1946 beschrieb John von Neumann ein Modell für einen Rechner, der Daten und Programme in einem gemeinsamen Speicher hält. Unter Vernachlässigung technischer Details (Präterition) skizzierte er den logischen und räumlichen Aufbau (Kontrastierung) eines Rechenautomaten entsprechend seinen gedanklichen Überlegungen, indem er für die Kommunikation notwendige schrift-sprachliche Konstrukte hinzufügte (Abundanz).

An dem obigen Beispiel wird nochmals deutlich, dass ein Modell sowohl Abbild "von etwas" (hier: Denkmodelle) als auch Vorbild "für etwas" (hier: Computer) sein kann. Sind die bei der Modellierung vorgenommenen Operationen umkehrbar eindeutig, lassen sich modellseitig gewonnene Einsichten und Erkenntnisse direkt auf das Original übertragen.

Im Von-Neumann-Modell wird deutlich, dass ein paralleler Datenaustausch zwischen Leit- und Rechenwerk und dem Speicher einen Geschwindigkeitszuwachs verspricht (Von-Neumann-Flaschenhals).

Während Hypothesen als theoretische Entwürfe noch als Modelle einer "Wirklichkeit" bezeichnet werden können, sollte das Modell von der reinen Theorie unterschieden werden, da die Theorie Allsätze bezüglich der Zeit- und Ortskoordinaten darstellt, während das Modell durch spezielle Zeit- und Ortskoordinaten charakterisiert ist (vgl. [Fre61a], S. 91 unter Bezug auf Cl. Maxwell). Modelle können jedoch Bestandteil einer Theorie sein, aus Theorien für neue Theorien entwickelt werden oder Theorien miteinander verbinden. Ein Experiment im naturwissenschaftlichen Sinne ist kein Modell, aber ein Modell kann durch ein Experiment überprüft werden oder in Teilen ersatzweise für ein Experiment stehen, wenn dieses beispielsweise nicht durchführbar ist.

3.2 Die Elemente im Modellbildungsprozess

Ausgehend vom Modellbildungsprozess können wir versuchen, zum einen die einzelnen Komponenten Subjekt, Original und Modell anhand ihrer Eigenschaften (Attributwerte) zu charakterisieren und zum anderen die wechselseitigen Beziehungen zwischen den Komponenten und ihren Attributen zu erfassen.

Es gehört zum Wesen des (neopragmatischen) Modellbegriffs, dass ein bestimmtes *Subjekt* über den Zusammenhang zwischen Modell und Original urteilt. Das Modell ist für das Subjekt nur

Mittel zum Zweck, um zu Ergebnissen im Hinblick auf das Original zu kommen. Da der Mensch jedoch nur in der Wirklichkeit und für die Wirklichkeit modelliert, die er selbst wahrgenommen hat, und dazu neigt, bestehende (mentale) Modelle möglichst nicht zu revidieren, kann es zu "Wirklichkeitsverzerrung" kommen. Für die informatische Modellbildung im Softwareentwicklungsprozess haben einige wenige Autoren den subjektbedingten Einfluss untersucht (s. S. 40ff). Das Subjektverständnis ist im Allgemeinen jedoch nicht einheitlich (vgl. z.B. [Loet78], S. 872ff). Vereinfachend lässt sich ein Subjekt als erkennendes, mit Bewußtsein ausgestattetes, handelndes Ich bezeichnen. Auch wenn in der Künstlichen Intelligenz diskutiert wird, ob einer Maschine Identität und Bewusstsein zugesprochen werden kann, werden wir den Subjektbegriff im Allgemeinen nur auf Menschen oder Menschengruppen beziehen.

Um das Subjekt im Modellbildungsprozess näher zu charakterisieren, können folgende Kriterien herangezogen werden (vgl. [Goo94], S. 21):

- wenig veränderliche anthropogene Voraussetzungen (Abstraktionsfähigkeit, Sinneswahrnehmung, Lerngeschwindigkeit, u.a.),
- aktuelle kognitive Voraussetzungen,
- sozial und kulturell bedingte Interessen und Zielvorstellungen / Rolle des Subjekts bezogen auf das Modell (Konstrukteur, Benutzer, Lerner o.a.).

Schüler sehen in Computerspielen vorwiegend den Unterhaltungswert. Simulationsspiele stellen jedoch meist ein Modell dar, mit dem wirtschaftswissenschaftliche Sachverhalte dargestellt und untersucht werden können. Das Wechselspiel einzelner computergenerierter Charaktere im Spiel interessiert möglicherweise Forscher der Künstlichen Intelligenz. Der Entwickler des Spiels möchte vermutlich einen hohen Gewinn erzielen. Alle Subjekte nutzen im Wesentlichen dasselbe Modell und können anhand der obigen Kriterien voneinander abgegrenzt werden.

Mit Modellen verbundene Intentionen können sein: Didaktische Veranschaulichung, Experimentalisierung, Repräsentation, Prognosen, Kommunikation, Theoriebildung, Nutzbarmachung eines Originals, Erkenntnisgewinn, Handlungsgrundlage u.v.m.. Apostel ist der Ansicht, dass Modelle (der empirischen Wissenschaften) über ihre Funktion formal eher erfasst werden können als über eine strukturelle Definition ([Apo60], S. 36). Gegen diese Sichtweise spricht, dass Modellkonstrukteur und Modellnutzer nicht automatisch den gleichen Zweck mit dem gleichen Modell verbinden müssen (Perspektivenproblem).

Originale und Modelle lassen sich als Objekte auffassen, die durch ihre Attribute repräsentiert und zu bestimmten Attributklassen zusammengefasst werden können (vgl. [Sta73], S. 134ff). Attribute sind Merkmale und Eigenschaften von Objektbestandteilen, Relationen zwischen Objektbestandteilen, Eigenschaften von Eigenschaften, Eigenschaften von Relationen usw.. Wann ein Objektbestandteil als atomar (nicht weiter teilbar) angesehen wird, ist meist anhand von pragmatischen Gesichtspunkten durch das Subjekt zu entscheiden. Diese Sichtweise findet sich in der Informatik ebenso wie in der kognitiven Psychologie (s.a. S. 33). Häufig lassen sich Attribute noch unterteilen in Attribute, die einen Zustand beschreiben und Attribute, die eher eine Handlungsanweisung darstellen. Attribute als primär perzeptiv-kognitive Gebilde werden i.d.R. unterschieden von ihren sprachlichen oder symbolisierten Repräsentanten, den Prädikaten¹⁵. Die Struktur der Attributierung lässt sich auf die Prädikate übertragen, d.h. Objekte lassen sich durch eine Menge von Prädikaten (Prädikatklasse) beschreiben.

Da Modelle zweck-, zeit- und subjektorientiert erstellt werden, können zu einem Original verschiedene Modelle existieren. Zum Vergleich von Original und Modell muss dem

¹⁵ Da wir in dieser Arbeit keine formale Analyse von Modellen durchführen, wie es Stachowiak getan hat, werden wir im Folgenden von Attributen sprechen.

Modellkonstrukteur bzw. dem Modellnutzer bekannt sein, unter Anwendung welcher Operationen das Modell an das Original angeglichen wurde, d.h. ein (informatischer) Modellbildungsprozess sollte ausführlich dokumentiert sein. Es lassen sich in Anlehnung an Stachowiak ([Sta73], S. 138ff) drei Angleichungsebenen unterscheiden:

- Die strukturell-formale Angleichung bezieht sich auf Attribute, die Relationen zwischen Komponenten der Entitäten beschreiben.

Die potentiellen Wege eines Handlungsreisenden lassen sich in einem (isomorphen) Graphen darstellen, der die Struktur des Problems in gleicher Art und Weise abbildet. Eine Datenstruktur für die Zeit, muss einen statischen Bezugspunkt (Urzeit) und einen dynamischen Zähler (Uhr) beinhalten.

- Die material-inhaltliche Angleichung bezieht sich auf (sekundäre) Attribute, die die Bedeutung, den Sinn und die Vorstellung zu einem Attribut beschreiben.

Die Folge "0110" kann die gleiche Bedeutung wie das Zeichen "6" haben. Jede Komponente eines vollständigen Schaltbildes kann die gleiche Bedeutung wie die jeweilige Komponente in der realen Schaltung haben. Ein derartiges Schaltbild ist nicht nur von maximaler materialer Angleichung (isohyl), sondern auch isomorph.

Originale und Modelle besitzen zudem noch materiell-energetische und raum-zeitliche Eigenschaften, die einer Sinneswahrnehmung bedürfen. Deren Angleichung bezeichnen wir, in Fortsetzung der Überlegungen von Stachowiak, als naturalistisch.

- Die naturalistische Angleichung bezieht sich auf Attribute, die materiell-energetische und raum-zeitliche Eigenschaften von Entitäten beschreiben.

Bewegt sich in einem Computerspiel ein grünes Auto auf dem Bildschirm, werden Farbe, Raum- und Zeitverhalten ähnlich dem des Originals empfunden.

Die Grenzziehung zwischen den Attributen der Angleichungsebenen muss wiederum pragmatisch erfolgen und ist häufig wissenschaftsspezifisch. Von einem materialen Attribut kann gesprochen werden, wenn ein semantischer Kode zugeordnet wurde. Ein naturalistisches Attribut basiert auf der Sinneswahrnehmung.

Auf jeder Angleichungsebene lassen sich zu Attributen von Modell und Original Modellierungsoperationen anwenden. Je stärker die Angleichung desto fehlerfreier kann der intendierte Transfer zwischen Modell und Original erfolgen.

3.3 Modellklassifikationen

Klassifikationsversuche von Modellen werden nach sehr unterschiedlichen Kriterien vorgenommen. Grundsätzlich lassen sich immaterielle¹⁶ und materielle Modelle voneinander unterscheiden. Dem Modellbegriff der Mathematik, im Sinne der Interpretation eines Axiomensystems, wird von zahlreichen Autoren ([Wues63]; [Loet78]; [Sta73]) eine gesonderte Bedeutung und ein eigener Anwendungsbereich zugewiesen. Da immaterielle Modelle schwer klassifizierbar sind, denn sie sind nur durch beobachtbares Verhalten postulierbar, werden sie im Abschnitt II.4. gesondert behandelt.

Materielle Modelle, die meist auf immateriellen Modellen basieren, können in ikonische, symbolische und enaktive Modelle unterschieden werden (vgl. [Tho98]). Diese Modelle sind uns phänomenologisch oder operativ-konstruktiv gegeben, d.h. durch die Summe der sinnlichen Wahrnehmungen und den Handlungen und Operationen, die man auf ihnen ausführen kann (vgl. [Fre61a], S. 92). Frey bezeichnet ein Modell als *ikonisch*, wenn eine "unmittelbare, bildhafte

¹⁶ In der Literatur wird häufig von "ideellen" Modellen im Sinne von graphisch-symbolischen Modellen gesprochen, die in idealisierender Weise gedanklich vorgestellte Modelle repräsentieren (z.B. [Loet78], S. 608). Da der Begriff "ideell" jedoch auch für "gedanklich" oder "geistig" (vgl. [Dud90], S. 330) steht, werden wir in dieser Arbeit nicht von "ideellen" Modellen, sondern von immateriellen Modellen bzw. mentalen Modellen sprechen.

Ähnlichkeit mit dem Abgebildeten" (ebd., S. 95) besteht (z.B. Piktogramm). Diese werden vorwiegend zur Veranschaulichung und zur Beschreibung verwendet, ohne jedoch dem Original gegebenenfalls zugrundeliegende kausale Zusammenhänge zu erklären. Besteht keine unmittelbare bildhafte Ähnlichkeit zwischen Original und dem Modell, so spricht Frey von einem *symbolischem* Modell (z.B. Gleichungssystem). Symbolische Modelle liefern Erklärungen und ermöglichen Prognosen, da die dem Original zugrundeliegenden Strukturen beschrieben werden (z.B. Chemische Summenformel); zumeist stark abstrahierend in einer formalen Sprache. Da die abstrakten Symbole keinen direkten Bezug zum Original aufweisen, muss ihnen explizit eine Semantik zugeordnet werden, wenn eine Interpretation vom Modell zum Original erfolgen soll. Zwischen ikonischen und symbolischen Modellen bestehen enge Beziehungen. Ikonische Modelle werden zur Veranschaulichung von symbolischen Modellen verwendet. Andererseits gehen symbolische Modelle häufig auf ikonische Modelle zurück (z.B. das graphische und formale Modell eines endlichen Automaten).

Dynamische Vorgänge des Originals können in symbolischen Modellen durch Hinzufügen von Parametern und durch Algorithmisierung beschrieben werden. Ein symbolisches Modell bleibt jedoch eine statische Beschreibung (z.B. Simulationsmodell). Enaktive Modelle ([Schwi94]) übernehmen – zumindest teilweise – die Dynamik des Originals (ablaufendes Programm). Ziel dieser Modellbildung ist das Beherrschen und Nutzen komplexer Prozesse und Strukturen. Es lassen sich vier – am objektorientierten Denken orientierte – Typen (vgl. [Cru95]) unterscheiden: simulierende, registrierende, regelnde und autonome Modelle (z.B. Fahrzeugsimulator, Messdatenverarbeitung, Ampelsteuerung und Computerviren).

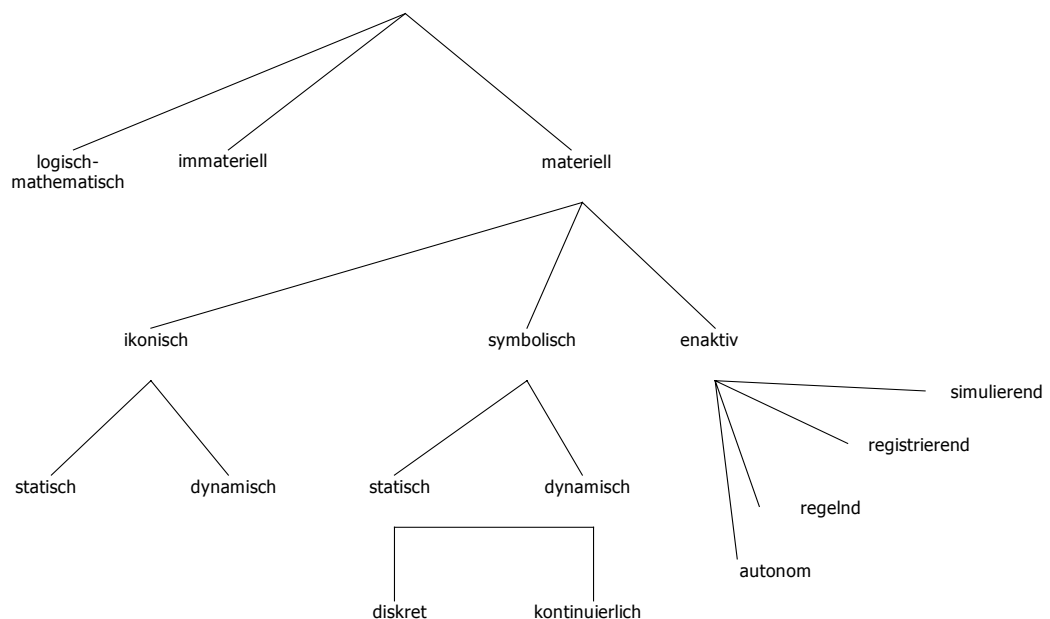


Abb. 3 Unterscheidungsmerkmale von Modellen

Es existieren Klassifizierungsversuche, um Modelle nach der Art von Zustandsübergängen (statisch - dynamisch, kontinuierlich - diskret, deterministisch - stochastisch - nichtdeterministisch), nach Art der Abbildung (materiell - immateriell, informell - formal, verbal - graphisch - symbolisch, qualitativ - quantitativ) oder der Untersuchungsmethode (analytisch - simulativ) zu unterscheiden (z.B. [Job01], S. 12f).

Ein Subjekt erstellt und nutzt ein Modell nicht zwingend zum *Zweck* der Erkenntnisgewinnung. In Anlehnung an Wüstneck ([Wues63]) lassen sich vier Haupttypen zur Modellierung herausstellen,

die zur Unterscheidung von Modellen hinsichtlich ihrer allgemeinen Funktion verwendet werden können:

- logische Modellierung:
Original und Modell liegen als System von Zeichen vor. Bei der Modellierung ist nur der *logische Inhalt* von erkenntnistheoretischem Interesse (z.B. Modelle im Sinne der mathematischen Modelltheorie).
- erkenntnistheoretische Modellierung:
Erkenntnisgewinn zu einem realen Original erfolgt durch Experimentieren, Simulieren, Prüfen und Analysieren am Modell, wobei Praxis und Theorie verbunden werden. Hierzu gehört auch die mathematische Modellierung im Sinne der Abstraktion von Wirklichkeit in Zeichensystemen (z.B. Matrizenmodelle in der Ökonomie).
- technische Modellierung:
Modell und Original sind materiell-realer Natur. Durch möglichst vollständige Analogie wird das Modell zum *Ersatz* für das Original (z.B. Prothesen in der Medizin).
- maschinelle beziehungsweise natürliche Modellierung:
das Modell ist ein Muster, welches sich auf die Gestaltung des Originals auswirkt. Hier geht es nicht um Erkenntnis, sondern um *Produktion*. (z.B. Muster für eine Kopierdrehbank, mentale Vorstellung vom Ziel des Arbeitsganges, Architektenskizze).

Stachowiak entwickelte neben einem Zweig der Philosophie und einer formalen Modelldefinition auch eine systematische Struktur zur Unterscheidung (Klassifizierung) von Modellen, die geeignet ist, die Vielfalt der Modelle übersichtlich zu machen. Die Überlegungen basieren auf einer umfangreichen Begriffsanalyse zu Kontexten, in denen der Begriff "Modell" im weitesten Sinne als Abbild, Vorbild und Repräsentation verwendet wurde. Auf den Gebrauch des Begriffs "Modell" in der Malerei und Plastik als künstlerische Nachbildung eines Menschen geht Stachowiak nicht weiter ein. Er weist explizit darauf hin, dass die aus der Begriffsanalyse entwickelte Struktur nicht vollständig ist, aber hinreichend breit angelegt wurde ([Sta73], S. 129f).

Zur Differenzierung von Modellen gibt Stachowiak eine pragmatische Einteilung in graphische, technische und semantische Modelle an, die sich weiter verfeinern lässt:

- Graphische Modelle
sind im wesentlichen zweidimensionale Modelle. Die Originale stammen meist aus dem Bereich des Wahrnehmens, des Vorstellens und der gedanklichen Operationen. Graphische Modelle, die unmittelbar ihre Bedeutung repräsentieren, werden als ikonisch bezeichnet, während symbolischen Modellen ihre Bedeutung, ihr Kode, zugeordnet werden muss (s.a. [Fre61a]).
- Technische Modelle
sind vorwiegend dreidimensionale, raum-zeitliche und materiell-energetische Repräsentationen von Originalen. Entsprechend der Natur ihrer Attribute lassen sich physiko-, bio-, psycho- und soziotechnische Modelle unterscheiden.
- Semantische Modelle
sind Kommunikationssysteme, die ein Subjekt zur informationellen Verarbeitung seiner Wirklichkeit verwendet. Es wird zwischen den internen Modellen der Perzeption und des Denkens sowie den externen semantischen Modellen, die sich aus Zeichen und Zeichenkombinationen aufbauen, unterschieden.

Die Übergänge zwischen einzelnen Modelltypen dieser Differenzierung sind häufig fließend, es kann also nicht von einer „echten“ Klassifikation gesprochen werden (ist für unsere Zwecke auch nicht erforderlich).

Den dargestellten Ansätzen zur Unterscheidung von Modellen werden im Kapitel III entsprechende Modelle der Informatik zugeordnet, um die Modellvielfalt in der Informatik aufzuzeigen.

4. Modelle im Geiste – immaterielle Modelle

Bei der Aufstellung von Modellklassifikationen im vorausgegangenen Abschnitt wurde bewusst auf eine Klassifikation immaterieller Modelle oder Denkmodelle verzichtet, da die „Existenz“ von informatischen Modellen dieser Klasse nur indirekt feststellbar ist. Es gibt jedoch einige wenige, doch wichtige Untersuchungen zur Relevanz informatischer Denkmodelle bei der Erstellung von Software und bei der Anwendung von Informatiksystemen, auf die in den ersten Abschnitten von Kapitel III eingegangen wird. An dieser Stelle wird nun die allgemeine Bedeutung von Modellen für die kognitive Verarbeitung im menschlichen Gehirn erörtert, da – wie schon erwähnt – der Mensch ohne immaterielle Modelle nicht handlungsfähig ist. Es spricht zudem einiges dafür, dass der Umgang mit materiellen Modellen die Verwendung von gedanklichen Modellen fördert, und umgekehrt (s. [And95], S. 117).

Unter dem Eindruck der Entwicklung von Linguistik, Informations- und Computerwissenschaften entdeckte die Psychologie in den sechziger Jahren wieder die kognitiven Prozesse des Menschen als Forschungsgegenstand ("kognitive Wende"). Während das Interesse zuvor – insbesondere in den USA im Rahmen des Behaviorismus – vor allem auf die Prinzipien der Verbindung von Umweltreizen und organismischen, äußeren Reaktionen fixiert war, trat nun das Paradigma der Informationsverarbeitung in den Vordergrund.

In der Kognitionspsychologie werden nicht-gegenständliche Modelle (interne semantische Modelle), die der Mensch im Rahmen der Wahrnehmung und des Denkens erzeugt und verwendet, zur Beschreibung und Erklärung menschlicher Informationsverarbeitung postuliert. Diese hypothetischen Konstrukte entziehen sich der direkten Beobachtung und können nur durch beobachtbares Verhalten bestätigt werden.

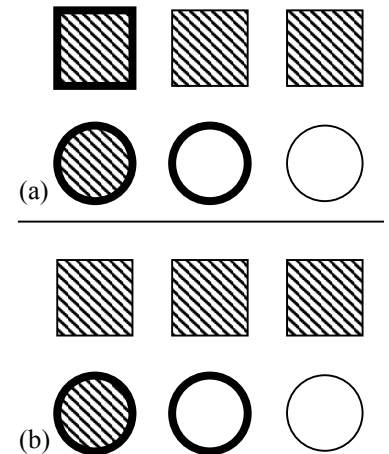
In dem Buch zu den Grundlagen der Kognitiven Psychologie von J.R. Anderson ([And95]) findet sich der Modellbegriff nur im Zusammenhang mit der "Theorie mentaler Modelle" von Johnson-Laird¹⁷. Nach Johnson-Laird konstruiert der Mensch ein mentales Modell von der Welt, welches er beim schlussfolgernden Denken einsetzt. Die Theorie der mentalen Modelle soll das nicht-logische Verhalten des Menschen beim Umgang mit kategorialen Syllogismen zu erklären. Kategoriale Syllogismen umfassen Aussagen, die mittels der Quantoren "einige", "alle", "kein" und "einige nicht" formulierbar sind (vgl. [And95], S. 314ff).

¹⁷ Abgesehen von "Modelltheorien" der Kognitionspsychologie zur Beschreibung des menschlichen Verhaltens.

Zu den Prämissen

- Alle Quadrate sind gestreift.
 - Einige der gestreiften Objekte haben eine fette Umrandung.
- intantierten Probanden mentale Modelle, die wie in (a) veranschaulicht werden können, und gelangen zu der Schlussfolgerung: Einige Quadrate sind fett umrandet. Dabei übersehen sie Möglichkeit (b).

Abb. 4 (nach [And95], S. 315)



Erklärt wird dieses Verhalten damit, dass der Mensch häufig ein bestimmtes mentales Modell zu einer spezifischen Situation aufbaut und dieses anstelle der Befolgung formaler Regeln anwendet. Das mentale Modell basiert meist auf einem erfahrungsbedingten, kontextorientierten Gedächtnisschema¹⁸ und würde auch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu der spezifischen Situation passen; allerdings nicht immer. Folglich ist menschliches Verhalten beim deduktiven Schließen eher probabilistischer Art, ähnlich dem des induktiven Schließens, und schwer algorithmisierbar. Die Gedächtnisschemata, auf denen mentale Modelle basieren, müssen angelegt sein, aktiviert werden können und eine ausreichende Analogie zum Wahrgenommenen erkennen lassen. Man kann sagen, dass mentale Modelle Instantiierungen von erfahrungsbasierten Schemata sind.

Wem der Bus aus dem öffentlichen Personennahverkehr bekannt ist, der Fahrgäste von einer Haltestelle zur nächsten transportiert, der wird rasch das Prinzip des Daten- oder Adressbusses verstehen können.

Der Entwicklungspsychologe Oerter betont ebenfalls, dass der menschliche Denkprozess von der Logik zu unterscheiden ist ([Oert80], S. 210ff) und geht auf die Bedeutung anschaulicher Modelle beim Denken ein, d.h. dem gedanklichen Umgehen mit konkreten Gegenständen. Anderson spricht in diesem Zusammenhang von "mental Vorstellungen" und "mental Bildern", auf denen gedanklich Operationen ausgeführt werden können ([And95], S. 108). Zu beachten ist zunächst, dass die Fähigkeit zum anschaulichen Denken entwicklungspsychologisch dem abstrakt-formalen Denken vorausgeht. Untersuchungen von Piaget (vgl. ebd., S. 144) zeigen, dass die Fähigkeit zum anschaulichen Denken ungefähr ab dem 7. Lebensjahr, das abstrakt-formale Denken erst ca. im elften Lebensjahr ausgebildet wird. Mentale Bilder können rotiert und gescannt werden, vergleichbar den Operationen an physikalischen Objekten. Scannen meint, dass an einem gedanklich vorgestellten, bildartigen Szenario Operationen zum Erfassen von Teilobjekten durchgeführt werden.

Der Test für medizinische Studiengänge enthält eine Reihe von Aufgaben, in denen dreidimensionale Objekte erfasst (gescannt) und mental rotiert werden müssen. Ähnliche Fähigkeiten sind bei der Entwicklung von 3D-Softwarewelten notwendig. Beide Fähigkeiten lassen sich durch Üben steigern.

Visuelle Vorstellungen und die Ergebnisse der visuellen Wahrnehmung weisen viele Gemeinsamkeiten auf und finden größtenteils sogar in den gleichen Hirnregionen statt.

¹⁸ "Schema" ist hier als hypothetisches Konstrukt zur Beschreibung der Organisation von Wissen im Gedächtnis zu verstehen.

Die wichtigsten Merkmale und Funktionen von mentalen Modellen lassen sich in Anlehnung an Dutke¹⁹ ([Dut94, S. 76ff) wie folgt zusammenfassen: Mentale Modelle

- sind hypothetische Konstrukte.
- haben die gleichen grundsätzlichen Merkmale wie allgemeine Modelle.
- sind schwer revidierbar, wenn sie nützlich, aber offensichtlich unzureichend sind.
- stützen sich häufig auf Analogien. Das Erkennen oder Konstruieren einer Analogie basiert auf Gedächtnisschemata. In mentalen Modellen können Sachverhalte der Umwelt dynamisch simuliert und (bildhaft) veranschaulicht werden.
- werden vermutlich nur mittelfristig gespeichert, da sie auf bestimmte Situationen zugeschnitten sind.
- Die Fähigkeit zum Modellieren mentaler Modelle kann durch Übung gefördert werden.

Mentale Modelle beziehen sich also ganzheitlich auf das Zusammenwirken von Prozessen zur menschlichen Informationsverarbeitung: analoges Denken, Gedächtnisorganisation, gedankliche Vorstellung, deduktives Schließen, Urteilen unter Unsicherheit und Handlungsregulation. Im Abschnitt III 1.2 betrachten wir mentale Modelle innerhalb der Informatik. Übung und Erfahrung, z.B. in der Schule, können den Umgang mit mentalen Modellen fördern.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass die Menschheit in ihrer Entwicklungsgeschichte stets Modelle unterschiedlicher Typen verwendet hat. Anfangs wurde das deutsche Wort „modell“ vorwiegend für handwerklich-künstlerische Techniken benutzt. Das Modellieren kann jedoch inzwischen in zahlreichen Lebens- und Wissenschaftsbereichen als eine Kulturtechnik gewertet werden, die den Menschen handlungsfähig macht, wobei i.d.R. Komplexes auf Einfacheres reduziert. Das Begriffsverständnis zum Modell musste entsprechend erweitert werden. Das Modell als Vorbild oder Abbild findet sich in zahlreichen Varianten, die unter unterschiedlichen Gesichtspunkten in verschiedene Modelltypen aufgeteilt werden können, um die Vielfalt der vom Menschen verwendeten Modelle umfassend darzustellen. Zur Unterscheidung von materiellen Modellen wurden drei Systematiken zusammengestellt, wobei vor allem eine am Zweck orientierte Klassifikation von Wüstneck und eine empirisch-pragmatische Einteilung von Stachowiak hervorzuheben sind. Immaterielle Modelle können gut mit dem kognitionspsychologischen Begriff "mentale Modelle" beschrieben werden. In diesem Zusammenhang wird unter anderem betont, dass die Fähigkeit zum Modellieren von Modellen durch Übung gefördert werden kann. Zwischen Modell und Original lassen sich auf verschiedenen Angleichungsebenen bestimmte Modelloperationen aufzeigen, deren Wirkung dem Subjekt, als Konstrukteur oder Nutzer, zur optimalen Beurteilung des Modells in Bezug auf ein Original bekannt sein müssten, welches i.d.R. aber nur bedingt möglich ist.

Es ist zu erwarten, dass das Modellieren von Modellen in der Wissenschaft Informatik, auch im Vergleich zu anderen Wissenschaften, einen besonderen Stellenwert hat, da Modelle der Informationsverarbeitung dienen und die Automatisierung der Informationsverarbeitung Gegenstand der Informatik ist. Es gilt nun, die Modelltypen in der Informatik herauszuarbeiten, um

¹⁹ Stephan Dutke versteht mentale Modelle umfassender als "Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt. Damit sind sie aber gleichzeitig auch Grundlage zur Planung und Steuerung von Handlungen. Individuelle mentale Modelle können ihre eigenen Schwerpunkte aufweisen: manche sind stärker verstehensorientiert, andere eher handlungsorientiert." ([Dut94], S. 2).

den Beitrag eines Schulfaches Informatik zur Förderung der kulturell-tradierten Fähigkeit des Modellierens von Modellen zu verdeutlichen. Im Gegensatz zu anderen Ansätzen werden wir unsere Suche weniger auf Techniken zur Modellierung, sondern auf die Modelle selbst ausrichten, da zum einen keine Anwendung einer Modellbildungstechnik ohne Vorstellung über das intendierte Modell erfolgen kann und zum anderen Kriterien zur Bestimmung und Unterscheidung von Modellen existieren.

III Der Modellbegriff in der Fachwissenschaft Informatik

*Informatik ist das,
was ein Informatiker tut,
wenn er sagt,
dass er Informatik treibt.*

unbekannt

Das Arbeiten mit Modellen erfolgt in der Informatik teilweise unbewusst und ohne explizite Verwendung des Begriffs "modell". Im ersten Abschnitt dieses Kapitels gehen wir daher, nach einer wissenschaftstheoretischen Darstellung zur Einordnung der Informatik in den Wissenschaftskanon, auf Arbeiten ein, die sich mit dem konstruktivistischen Charakter einer informatischen Modellbildung und mit der Bedeutung von Modellvorstellungen für die Entwicklung, für das Verständnis und für die Bedienung von Informatiksystemen auseinandersetzen.

Um den Begriff der informatischen Modellbildung in der Fachwissenschaft Informatik zu präzisieren, werden anschließend elektronische Skripte, Grundlagenliteratur und Fachlexika der Informatik untersucht. Im Wesentlichen verfolgen wir dabei zwei Ziele mit unterschiedlichen Methoden. Zum einen wird die explizite Verwendung des Wortes "modell" und seiner Flexionsformen in der Fachsprache der Informatik analysiert, um den Modellbegriff der Informatik zu präzisieren. Zum anderen verwenden wir die in Kapitel II herausgearbeiteten Systematiken, um informatische Modelle und Modelltypen im weitesten Sinne innerhalb der Informatik zu finden und zu unterscheiden. Auf diese Weise versuchen wir den Charakter informatischer Modelle zu erschließen und das vermutete umfassende Modellieren von Modellen in der Wissenschaft Informatik nachzuweisen.

Die Erzielung quantitativer Aussagen ist innerhalb dieser Arbeit nicht möglich, da die zugrundegelegte Literaturbasis nicht im Ganzen als repräsentativ gelten kann und an vielen Stellen subjektive Erfahrungen und Kenntnisse einfließen. Allerdings wird versucht, möglichst qualitative durch halb-quantitative Aussagen zu ergänzen.

1. Informationsverarbeitung mit Modellen in der Informatik

Wir leben in einem Zeitalter, in dem immer mehr Leistungen von (menschlich-)biologischen Organismen durch künstliche Maschinen übernommen werden; in einem Zeitalter zunehmender Automatisierung. Bezüglich der Grundgrößen Energie und Materie war es der Mensch gewohnt, von anderen Lebewesen übertroffen zu werden. Mittels der Konstruktion von kraftumsetzenden Maschinen gelang es schon in den frühen Jahrtausenden der Menschheitsgeschichte "Nachteile" gegenüber anderen Lebewesen zu reduzieren. Es folgten, insbesondere mit Beginn der industriellen Revolutionen im 19. Jahrhundert, Konstruktionen von faszinierenden und teilweise erschreckend wirkenden Maschinen, mit denen zahlreiche Formen von Materie und Energie verarbeitet werden konnten.

Die ersten industriellen Revolutionen führten zu gravierenden Veränderungen in der Arbeitswelt und einer Reduktion von Arbeitsplätzen in einem nie zuvor erlebten Ausmaß. Seit der Mitte des 20igsten Jahrhunderts werden nicht nur körperliche, sondern zunehmend auch "geistige"

Tätigkeiten des Menschen von Maschinen geleistet. Umschulungen oder Verlust des Arbeitsplatzes waren und sind die Konsequenzen und führten zu der Feststellung einer "dritten industriellen Revolution" ([Bal78]). Die geistige Tätigkeit des Menschen beruht auf der außerordentlichen Fähigkeit zur unbewussten und bewussten Verarbeitung von umfangreicher und komplexer Information. Dies ist das Merkmal, mit dem sich der Mensch von allen anderen Lebewesen auf dem Planeten Erde abhebt. Aus diesen Gründen erscheint es zulässig, mit Norbert Wiener ([Wie66]) gesprochen, Information als dritte wesentliche Erscheinungsform der realen Welt neben Energie und Materie zu bezeichnen.

Information ist zwar ein zentraler Begriff in den unterschiedlichsten Wissenschaften wie der Psychologie, der Physiologie oder Teilbereichen der Biologie, jedoch existiert keine universale oder gänzlich zufriedenstellende Definition von Information. Allenthalben besteht Übereinkunft, dass Information dargestellt (Signale, Zeichen, Sprache) und verarbeitet werden kann (Ein-/Ausgabe, Speichern, Verknüpfen) sowie bestimmte Eigenschaften aufweist²⁰ (vgl. [Dud01], S. 303). Die Erzeugung von Informations- und Kommunikationsmitteln gehört zu den wichtigsten Tätigkeiten des Menschen.

Im europäischen Raum wurden Studiengänge, die sich mit der automatisierten Darstellung und Verarbeitung von Daten und Information beschäftigen, mit dem aus dem Französischen übernommenen Wort "Informatik" bezeichnet. Dieses vereint die Begriffe Information und Automatik²¹. Insofern ist das Fehlen eines Informationsbegriffs relativ problematisch; nur relativ, da sich die Informatik durch ihre Inhalte, die Forschungstätigkeiten und die Lehre bestimmt.

Auf dem Fakultätentag Informatik am 30. April 1976 wurde ein universitärer Fächerkatalog beschlossen, der die Informatik auch heute noch zutreffend in die folgenden Teilbereiche gliedert (vgl. [Arl81], S. 23):

- Theoretische Informatik
- Praktische Informatik
- Technische Informatik
- Anwendungen der Informatik²²
- Didaktik der Informatik
- Gesellschaftliche Bezüge der Informatik

Die ersten drei Teilbereiche werden unter dem Oberbegriff "Kerninformatik" zusammengefasst.

1.1 Informatik im Wissenschaftskanon

Informatik wird üblicherweise als Wissenschaft bezeichnet. Damit sind zum einen die Institute, Fachbereiche sowie die Praxis von Forschung, Lehre und Anwendung gemeint. In diesem Sinne ist die Informatik sicherlich eine Wissenschaft. Andererseits konstituiert sich eine Wissenschaft als eine besondere Form von Wissen und macht damit ihren Stellenwert, aber auch ihre Abgrenzungen, innerhalb des Wissenschaftskanons geltend.

²⁰ Im Sinne der Informationstheorie nach C.E. Shannon (1948) ist Information ein Maß der Verringerung der Unbestimmtheit des Eintretens zufälliger Ereignisse mit der Einheit 1 bit (nicht zu verwechseln mit 1 Bit). Eine Auseinandersetzung mit dem Informationsbegriff innerhalb und außerhalb der Informatik muss jedoch anderen Arbeiten überlassen bleiben. Einen Überblick geben i.d.R. gängige Lexika zur Philosophie.

²¹ = selbstgesteuerte technische Vorrichtung

²² = Angewandte Informatik

Die Zuordnung der Informatik zu einer Wissenschaftskategorie ist nicht nur im Schulbereich für eine formale Einteilung der Fächer in Aufgabenfelder gemäß der Vereinbarungen der Kultusminister zur Gymnasialen Oberstufe von Interesse (vgl. [KMK72], S. 7), sondern betrifft vielmehr das Selbstverständnis des Faches und damit seine bildungspolitische Bedeutung. Doch erweist sich die Einordnung in den Wissenschaftskanon als recht schwierig, da die Dynamik der jungen Wissenschaft Informatik bereits zu zahlreichen, sehr unterschiedlichen Definitionen führte. Diese Definitionen verstehen Informatik als

- Ingenieur-Geisteswissenschaft, "von der Programmierung der Informations-, das heißt Zeichenverarbeitung." Ihre Produkte sind immateriell, d.h. nicht an Stoff und Energie gebunden. (Bauer [Bau74], S. 335f),
- Strukturwissenschaft, vergleichbar der Mathematik, die sich mit der systematischen Verarbeitung von Information mit Hilfe von Digitalrechnern beschäftigt (C.F. v. Weizsäcker 1971, Bauer 1985, Dijkstra 1989). Ähnlich lautet die Definition der Association for Computing Machinery (ACM)

"the discipline of computing is the systematic study of algorithmic processes that describe and transform information; their theory, analysis, design, efficiency, implementation, and application. The fundamental question underlying all of computing is: 'What can be (efficiently) automated'." ([Den89], S. 19),

- Informationswissenschaft "that has as its domain information processes and related phenomena in artifacts, society and nature" (Nygaard [Nyg86], S. 189),
- hermeneutische Sozial-"Wissenschaft des instrumentalen Gebrauchs der Informationstechnik; einer Sammlung von Instrumenten, mit denen ein soziales Verhältnis, nämlich das der Menschen zu ihrer Arbeit, bestimmt wird ... Aufgabe der Informatik ist also die Analyse von Arbeitsprozessen und ihre konstruktive, maschinelle Unterstützung. Nicht die Maschine, sondern die Organisation und Gestaltung von Arbeitsplätzen steht als wesentliche Aufgabe der Informatik im Mittelpunkt der Informatik. Die Gestaltung der Maschinen, der Hardware und der Software ist dieser primären Aufgabe untergeordnet." (Coy [Coy92], S. 17),
- Technikwissenschaft, "in der es 'um die Repräsentation von Wissen in Form von Daten und um die Reduktion geistiger Tätigkeiten auf Algorithmen und maschinell simulierbare Prozesse' geht. Informatik ist demnach eine Wissenschaft von der Maschinisierung geistiger Arbeit" (Luft/ Kötter [Luf94], S. 190).

Zu jeder der zitierten – sicherlich nicht vollständigen – Informatik-Definitionen lassen sich Gegenargumente finden. Der Philosoph W. Büttemeyer ([Buet95], S. 96f) ordnet die Informatik als Ingenieurwissenschaft auf formalwissenschaftlicher Grundlage ein, nachdem er aufgezeigt hat, dass sie keiner der klassischen Wissenschaftsarten, wie Geisteswissenschaften, Sozialwissenschaften und Naturwissenschaften problemlos zugeordnet werden kann. Andererseits stellt er aber auch fest, dass in der heutigen Zeit eine immer stärkere Verflechtung dieser Kategorien erfolgt, so dass die Unterschiede zur Informatik häufig geringer sind, als allgemein behauptet wird. Jede der Definitionsversuche enthält Aspekte, die auf die Informatik zutreffen. Betrachtet man Informatik als eine Art „Brückenwissenschaft“, bietet sich ein Informatikunterricht für die Schule als ein verbindendes Element für projektartiges und fächerverbindendes Arbeiten an. Vielleicht ist sogar die Diskussion der Verknüpfungen der Informatik zu den benachbarten Wissenschaften für die Schule eine Chance, ansatzweise fächerverbindende Wissenschaftstheorie anhand einer Auseinandersetzung mit informatischen Gegenständen, Inhalten und Methoden zu betreiben.

Gegenstand der Wissenschaftstheorie sind Fragen nach den Merkmalen und Voraussetzungen einer Wissenschaft, deren Zielsetzung, Begriffsbestimmungen, Theorienbildung und Argumentationsweisen. Die moderne Wissenschaftstheorie lässt sich in eine analytische und eine konstruktive

Philosophierichtung unterscheiden. Die analytische Wissenschaftstheorie, die auf dem durch den Wiener Kreis vertretenen logischen Empirismus begründet und von W. Stegmüller in Deutschland nach dem Krieg wieder vertieft wurde, konzentriert sich vorwiegend auf eine möglichst exakte mathematisch-logische Analyse und Nachkonstruktion des vorherrschenden Sprachgebrauchs in den Wissenschaften. Pragmatische und hermeneutische Aspekte von Wissen und Erkenntnis bleiben zumeist unberücksichtigt. Die konstruktive Wissenschaftstheorie geht davon aus, dass die vorwissenschaftliche Lebenswelt die Grundlagen der Wissenschaften bestimmt. Sie unterscheidet sich nach P. Lorenzen ([Lor87]) von der analytischen Wissenschaftstheorie der 60iger Jahre insbesondere darin, dass sie erst nach den jeweiligen Aufgaben der Wissensbildung fragt und anschließend die in der Wissenschaft verwendeten Methoden zu legitimieren versucht. "Die Analyse der Umgangssprache und der faktisch benutzten Wissenschaftssprachen ist für Konstruktivisten kein Selbstzweck, sondern nur ein erster Schritt bei dem Bemühen, für die Fachwissenschaften verständliche, in ihrem Aufbau für jedermann nachvollziehbare Terminologien aufzubauen." ([Luf94], S. 81). In diesem Sinne sind die Untersuchungen zur Fachsprache im Abschnitt III 2. , sowohl für die Fachwissenschaft als auch für ein Schulfach Informatik, zu verstehen.

Aufgrund der Dynamik, mit der sich die Wissenschaft Informatik entwickelt und mit der sich Arbeitsschwerpunkte als Bindestrich-Informatiken aus der Kerninformatik in die Angewandte Informatik bewegen, ist es derzeit vermutlich sinnvoll mit dem kompromissuchenden Definitionsvorschlag der UNESCO zu arbeiten:

"the science dealing with the design, realization, use and maintenance of information processing systems; including hardware, software, organizational and human aspects, and the industrial, commercial, governmental and political implications" ([Une94]).

1.2 Konstruktivistische Modellbildung

Informatiklösungen sind keine endgültigen Lösungen im klassischen Sinne, da Produkte der Informatik in ihrer Umgebung stets in einem Selbstbezug stehen, der die Ausgangsbedingungen des zum Informatiksystem führenden Entwicklungsprozesses verändert. Bei jeder Systementwicklung in der Informatik müssen zudem Entscheidungen getroffen werden, die nicht von den gegebenen Randbedingungen ableitbar sind, sondern durch die Wahrnehmung der Problemsituation durch die am Prozess beteiligten Personen bestimmt werden. Wahrnehmung beruht dabei nicht allein auf sensorischen Vorgängen, sondern insbesondere auf den Informationsvorgängen im Gehirn, wobei "reale" Wirklichkeit durch erfundene oder konstruierte Wirklichkeit ergänzt werden kann. Es ist allerdings nicht feststellbar, welche Wahrnehmung "real" und welche erfunden ist. Man kann daher von konstruktivistischer Modellbildung sprechen, d.h. Wirklichkeit wird an sich als konstruiert angesehen.

Ein Ziel der Informatik ist die Entwicklung von wiederverwendbaren Methoden, mit denen sich möglichst allgemeingültige Systeme realisieren lassen. Modellbildung ist dabei ein zentraler Bestandteil. Der Einfluss des Subjekts (vgl. II 3.) soll allerdings auf den Entwurf beschränkt bleiben und keine Auswirkungen bei der späteren Verwendung des Systems oder des Modells haben (eine Modellierungssprache soll schließlich nicht nur dem Autor nutzen und konstruierte Informatiksysteme sollen möglichst vielseitig einsetzbar sein). Zwar gilt dies auch für andere Ingenieurwissenschaften, doch Goorhuis ([Goo94]) sieht bei der informatischen Modellierung eine stärkere Trennung von Subjekt und Objekt, die in einem hohen Verallgemeinerungsanspruch der Informatik für ihre Produkte bedingt ist. Die Beschreibung eines Modells in Form von Programmzeilen bedarf beispielsweise keiner weiteren Interpretation durch den Menschen, sondern sie bewirkt (hoffentlich) das Intendierte. Eine Subjekt-Beziehung entsteht erst wieder zu der Wirkungsweise des Modells, nicht zu dem Modell selbst. Zahlreiche Softwarepakete weisen eine starke Subjekt-Objekt-Spaltung auf, die zwar den Einsatzbereich der Software erhöht und damit

möglicherweise den Umsatz steigert, jedoch von dem Anwender zunehmend mehr Grundlagenverständnis erfordert und bestenfalls mehr und mehr benutzerunfreundlich wirkt.

Der expliziten Erstellung eines Modells gehen in der Informatik nach Goorhuis stets zwei Phasen innerhalb des Modellsubjekts voraus:

1. *Kogitationsphase*, in der sich das Subjekt eine Vorstellung M1 von dem zu Modellierenden O in der "Wirklichkeit" macht. Diese Phase gehorcht vor allem den Gesetzen der Wahrnehmung und des Erkennens. In seiner Arbeit versucht Goorhuis aufzuzeigen, dass schon diese Phase der Modellbildung nicht unberücksichtigt bleiben darf, da es sonst zu Missverständnissen und Misserfolgen bei der informatischen Modellbildung kommt²³.
2. *Konstruktionsphase*, in der ein internes semantisches Modell M2 erstellt wird, das als Grundlage für die eigentliche Realisation eines externen semantischen Modells R (Schrift, Zeichnung usw.) dient. Diese Phase baut auf dem in der Kogitationsphase erstellten Modell auf und folgt beispielsweise den Gesetzen der "menschlichen Logik" (vgl. II 4.).

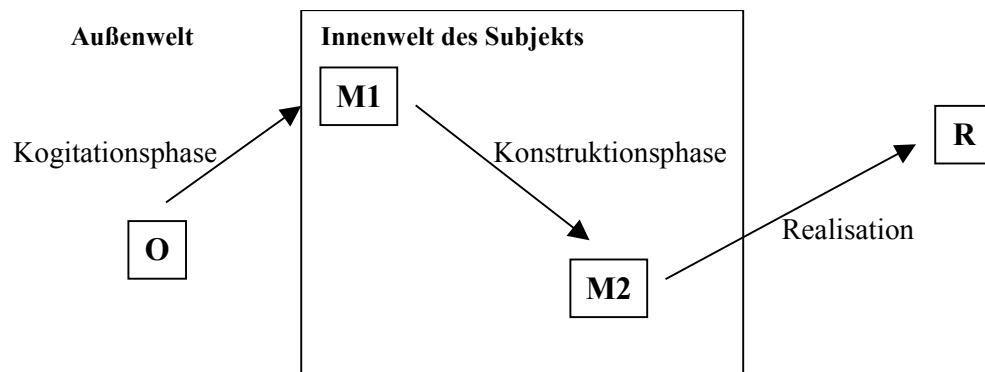


Abb. 5 Modellbildung in der Informatik nach Goorhuis ([Goo94], S. 2)

Da die Konstruktionsphase auf der Kogitationsphase aufbaut und beide Phasen unterschiedlichen Gesetzen gehorchen, kommt es zu Zielkonflikten in der informatischen Modellbildung. Eine wichtige Feststellung in diesem Zusammenhang ist, dass auch bei ausführlichster phasenbegleitender Dokumentation in der Software-Entwicklung das erstellende Modellsubjekt (Konstrukteur) sich eine subjektive Vorstellung der Vorstellungen des Abnehmers (Modellnutzer) machen muss. Eine vollständige Klärung oder Abgleichung der Vorstellungen ist nach der konstruktivistischen Erkenntnistheorie jedoch nicht möglich.

Die Bildung von internen semantischen Modellen birgt zudem die Gefahr, dass die künftige Wahrnehmung des Subjekts nur im Sinne einer Selbstbestätigung des Modells erfolgt. Folglich müssten im Entwicklungsprozess möglichst "fachlich unterschiedlich geprägte" Entwickler und alle zukünftigen "Abnehmertypen" an der Modellierung beteiligt werden. Während des Prozesses müssen stets Rückkopplungen zwischen den beteiligten Personen erfolgen. Ein entsprechendes (fachübergreifendes und fächerverbindendes) Vorgehen wäre auch für die Arbeit an Projekten im Informatikunterricht wünschenswert.

Seine Untersuchung zu den Wechselwirkungen der obigen "internen" Modellbildungsphasen führt Goorhuis, unter Verwendung der formalen Definitionen zum Modellbildungsprozess nach Stachowiak ([Sta73]), zu neun Zielkonflikten, die in ihrer Gesamtheit nicht lösbar seien, aber jede informatische Modellbildung prägen ([Goo94], S. 54ff):

²³ Zwischen 1978 und 1991 wurden 15% aller Projekte zurückgestellt, abgebrochen, verschoben oder die gelieferten Resultate wurden nie verwendet ([Goo94], S. 66).

1. *Die Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung stimmen mit den Gesetzmäßigkeiten der formalen Logik nicht überein.* Trotzdem soll die Wahrnehmung eine Grundlage für formale, informatische Modelle darstellen und zugleich möglichst authentisch sein.
2. *Gedankliche Vorgänge auf der Basis von Wirklichkeitsmodellen sollen automatisiert werden, gleichzeitig müssen sie gedanklich nachvollzogen werden, um wirklich zu sein.* Gödel hat 1931 bewiesen, dass es Sätze gibt, die durch gedankliche Überlegungen, aber nicht durch formale Beweise entschieden werden können (Unvollständigkeitssatz). Mindestens ebenso wichtig ist die zitierte Feststellung von Finsler (1943), dass Beweise erst akzeptiert sind, wenn sie gedanklich als solche anerkannt werden.
3. *Das Abbilden einer nicht-formalen Welt in ein formales Modell.* Eine subjektiv als nicht-formal wahrgenommene Welt soll in ein formales Modell übertragen werden.
4. *Die Repräsentation durch Daten bzw. Symbole erzwingt eine attributierende Wahrnehmung der Wirklichkeit.* Die Attributierung kann schon wirklichkeitsverzerrende Elemente enthalten (vgl. auch [Sta73] und [Coy92]).
5. *Die Informatik strebt eine Modellikomorphie an, gleichzeitig soll aber ein operatives Ziel erreicht werden.* Bestimmte bestehende Prozesse sollen unter Beibehaltung der Umgebung automatisiert werden. Andererseits soll eine schnellere Abwicklung der Prozesse erfolgen, was eine Anpassung der Umgebung erfordert.
6. *Modelle der Informatik sollen situativ, gleichzeitig aber allgemeingültig sein.* Je allgemeiner, desto größer das Klientel. Je spezifischer, desto Kunden adäquater.
7. *Die Pluralität der Sichtweisen, d. h. der individuellen Perzeptionsmodelle, muss für die Informatik reduziert werden, ist aber letztlich nicht reduzierbar.* Entwickler wie Anwender haben unterschiedliche Sichtweisen, die nicht vollständig in einem Informatiksystem für alle berücksichtigt werden können.
8. *Die Ambiguitäten der Wirklichkeit sind nur umständlich formal abbildbar und treten daher für das Modellsjekt als mangelhafte Merkmale auf.* Widersprüchlichkeiten und Mehrdeutigkeiten der Alltagssprache werden im Vergleich mit Programmiersprachen vom Subjekt als Mangel empfunden, sind aber häufig notwendiges Mittel zur Lösung komplexer Probleme.
9. *Die Introspektion soll unverfälscht sein, um allgemeine Systeme zu erlauben, hängt aber untrennbar mit der nicht gelösten Frage des Selbstbildes über das eigene Denken zusammen.* Annahmen des Subjekts über das eigene Denken beeinflussen die Selbstbeobachtung.

Die scheinbare Auflösung der Irreduzierbarkeit der Zielkonflikte in ihrer Gesamtheit durch die an der Entwicklung beteiligten Personen führt zu einem Selbstverständnis der informatischen Modellbildung, dass sich selbst bestätigt. Beispielsweise wird ein Modellsjekt der Informatik stets die Modelle verwenden, die seiner Selbstwahrnehmung entgegenkommen. Dies macht den konstruktivistischen Charakter der Modellbildung in der Informatik aus. Bestehende Modelle werden immer wieder gefestigt und verzerren gegebenenfalls die Wahrnehmung von Wirklichkeit²⁴. Unterschiedliche und verzerrte Wahrnehmungen, die für objektiv gehalten werden, führen bei der informatischen Modellierung zu Kommunikationsproblemen, die als Hauptursache für das Scheitern²⁵ von Informatikprojekten angesehen werden kann ([Goo94], S. 75).

Als Konsequenz schlägt Goorhuis die Verwendung von Softwareentwicklungsmethoden vor, die untrennbar mit der Wahrnehmungscharakteristik der anwendenden Person verknüpft ist und eine konstruktivistische Grundeinstellung enthalten (ebd., S. 116ff), d.h. beispielsweise nie zu denken, absolut recht zu haben, und verwendete interne Modelle in Frage zu stellen. Es wird folglich weder die Methode der informatischen Modellbildung noch die perfekte Informatiklösung zu einer

²⁴ Dies führt auch zu der Frage, ob ein Informatiker und Informatiklehrer ausreichend objektiv über die Bedeutung der Informatik für die Schule diskutieren kann.

²⁵ Scheitern wird hier als wesentliche Abweichung von Zielvorstellungen verstanden, die eine Einstellung des Projekts zur Folge haben ([Goo94], S. 67).

gegebenen Aufgabe geben. Akzeptiert man diese Erkenntnis, dürften weitreichende Konsequenzen für ein Verständnis zum Informatikunterricht die Folge sein, da unter schulischem Lernen häufig immer noch die Vermittlung "absoluten Wissens" verstanden wird.

1.3 Modellvorstellungen

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt deutlich wurde, spielen die gedanklichen Prozesse im informatischen Modellbildungsprozess eine wichtige Rolle. Die Bedeutung von "mental Modellen" untersucht S. Dutke ([Dut94]) am Beispiel der Entwicklung und softwareergonomischen Bewertung von Anwendungsprogrammen, wobei er den Begriff in einem umfassenderem Sinne für "gedankliche" Modelle verwendet, als beispielsweise Anderson ([And95], S. 108ff, 318ff).

"Mentale Modelle sind Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt. Damit sind sie aber gleichzeitig auch Grundlage zur Planung und Steuerung von Handlungen. Individuelle mentale Modelle können ihre eigenen Schwerpunkte aufweisen: manche sind stärker verstehensorientiert, andere eher handlungsorientiert." ([Dut94], S. 2)

Mit dieser Definition entsprechen mentale Modelle den in der konstruktivistischen Modellbildung der Informatik verwendeten internen Modellen der Kogitations- und Konstruktionsphase.

Mentale Modelle werden vor allem durch Metaphern und konzeptuelle Modelle aufgebaut und angewendet. Beide Modelle enthalten Analogien hinsichtlich eines Originals. Während Metaphern, beispielsweise der "Papierkorb" oder die Schreibtisch-Metapher, stets als solche erkannt werden müssen, erläutern konzeptuelle Modelle, wie z.B. der Kellerautomat, die intendierte Analogie. Metaphern sind stark an vorhandenes Wissen gebunden. Konzeptuelle Modelle erfordern zunächst einen höheren Lernaufwand, der sich aber in größerer Effektivität bezahlt machen kann. Lassen sich einfachere und verstehensorientierte Aufgaben mit Metaphern schnell und gut lösen, so scheinen konzeptuelle Modelle für komplexere Probleme geeigneter zu sein, da sie zielorientierte Handlungen implizieren.

Zur Erschließung eines Electronic-Mail-Systems wurde Versuchspersonen entweder ein konzeptuelles Modell in Form einer schematischen Abbildung zu den Komponenten des Systems und einer Liste von Kommandos gegeben oder ein metaphorisches Modell, das das System mit Begriffen wie "Büroablage", "Botenjunge" oder "Botenanweisung" erläuterte, zur Verfügung gestellt. Es zeigte sich, dass die Metapherngruppe leichte Aufgaben schneller bearbeitete und komplexere Aufgaben effizienter in der Gruppe mit dem konzeptuellen Modells gelöst wurden (nach Sein, Bostrom und Olfmann in [Dut94], S. 96).

Computeranwender, "die mit einem für sie neuen Anwendungsprogramm konfrontiert werden, müssen ein mentales Modell der Funktionsweise, der Einsatzmöglichkeiten und der Bedienung des Programms" (ebd., S. 80) oder der Hardware erwerben.

Um das Zusammenspiel zwischen den Komponenten eines integrierten Bürosystems unerfahrenen Benutzern zu erläutern, wurde in einer Untersuchung von van der Veer und Felt ([Vee88], S. 258) eine bildhafte Metapher entwickelt, die einem Rohrpost-System ähnelt, welches als bekannt vorausgesetzt wurde.

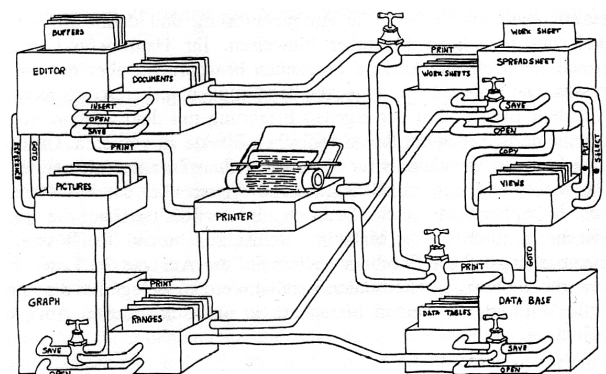


Abb. 6 nach van der Veer und Felt in ([Vee88])

Metaphern können auch Einstellungen und Stimmungen beeinflussen. Teilnehmern eines Computerkurses wurde versucht ihre

Unsicherheit gegenüber Computer zu nehmen, indem ihre Einstellung gegenüber Fernsehern auf Computer übertragen wurde:

"... suppose I took you outside the room, told you to go in and turn on the computer switch ... to press a key marked ENTER twice, and the word READY would appear on the screen. And you did that and nothing happened. Your reaction might be, 'What did I do wrong? I don't understand computers!' But if I told you to go into the room and turn on a TV set and dial Channel 4 and nothing happened, what would you do? You would probably see if the TV set were plugged in and your reaction might be 'what's wrong with the TV?' " ([Car85], S. 83).

Entscheidend für den Software-Entwicklungsprozess und für die spätere Nutzerakzeptanz der Software scheinen grundlegende Sichtweisen zur Interaktion von Mensch und Computer zu sein, die durch Metaphern ausgedrückt werden ([Maa92], S. 94):

- Maschinen-Perspektive; bestärkt den Anwender, dass die Maschinen nur vom Experten zu durchschauen sind (Rechner, EVA, elektronisches Fließband).
- System-Perspektive; Benutzer und Computer werden als gleichwertig hinsichtlich der Informationsverarbeitung angesehen (Büro-Metapher).
- Kommunikations-Perspektive; Benutzer und Computer werden als gleichberechtigte Sender und Empfänger angesehen (Dialog-Partner, Hilfe-Dialog).
- Werkstatt-Perspektive; gibt dem Benutzer einen Expertenstatus (Werkzeug, Editor, Compiler, Debugger, Programmierumgebung).
- Medien-Perspektive; der Computer ist lediglich ein Mittel für Koordinations- und Organisationsaufgaben (Electronic Mail, Bulletin Boards).

Diese Metaphern stehen jeweils für ein bestimmtes mentales Modell, das der Entwickler oder der Anwender ausbilden und anwenden kann. Wird die Existenz dieser Sichtweisen als bedeutsam akzeptiert, müssten sie den Schülern kommuniziert werden, um sie kompetent in die Lebenswirklichkeit zu entlassen. Wilfried und Ute Brauer ([Bra89]) haben sich kritisch mit drei Metaphern in der "Computer-Ausbildung" auseinandergesetzt. Die Metapher des "user friendly black-box tool" führt ihrer Meinung nach zu einem mentalen Modell, das einer ultimativen Autorität entspricht, wenn die zugrundeliegenden Funktionen nicht besprochen werden. Der "partner for communication" resultiere in einer Vermenschlichung des Computers, die zu einer Technikgläubigkeit verführe. Als sinnvolle Metapher sehen sie die "informational machine", die zu einem funktionsorientierten mentalen Modell des Computers führt, da nur auf diese Weise ein grundlegendes Verständnis des Computers als informationsverarbeitendes Werkzeug gefördert wird. Diese Überlegungen werden durch Arbeiten von Friedrich u.a. ([Fri97]) gestützt.

In Untersuchungen innerhalb der Informatik wurde aufgezeigt, dass Metaphern und konzeptuelle Modelle den Aufbau von nützlichen mentalen Modellen fördern; sich allerdings auch als hinderlich erweisen können, wenn Basis- und Zielbereich der Analogie nur oberflächlich oder scheinbar kongruent sind.

Wird ein Textverarbeitungsprogramm mit einer Schreibmaschinen-Metapher verglichen, kann das Einfügen von Zeichen vor vorhandenen Zeichen mit dieser Metapher nicht erklärt werden.

Mentale Modelle können den Problemlösevorgang unterstützen, da an ihnen Problemlösungen gedanklich "durchgespielt" werden können. Die "Gedankenprognose" muss jedoch mit den tatsächlichen Gegebenheiten verglichen werden, da das mentale Modell nur bedingt mit dem Original übereinstimmt. Dies bedeutet, dass die kognitive Simulation in der Realität getestet

werden muss, welches man als explorierendes Handeln bezeichnet. Mentale Modelle und explorierendes Handeln stehen in engem Zusammenhang.

"Die Entwicklung eines realitätsangemessenen und effektiven mentalen Modells erfordert also die Möglichkeit zu explorierendem Handeln am System selbst. Andererseits erfordert die Planung und Durchführung von Handlungen die Existenz eines wenigstens bruchstückhaften mentalen Modells vom System." ([Dut94], S. 147).

Durch explorierendes Handeln ist es dem Individuum möglich, individuelle mentale Modelle auszubilden und sich Wissen und Fähigkeiten „spielerisch“ anzueignen. Dadurch könnte die Subjekt-Objekt-Spaltung der konstruktivistischen Modellbildung in der Informatik reduziert werden. Inhalte der Informatik lassen sich mit Hilfe von geeigneten Metaphern effizient vermitteln, da sie zu explorativem Handeln auffordern. Schüler könnten auch Metaphern und konzeptuelle Modelle konstruieren, um mentale Modelle bei anderen zielgerichtet zu erzeugen (z.B. im Rahmen der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen). Zudem könnte die interne Modellbildung bewusst gemacht werden und somit verschiedene Sichtweisen innerhalb der Informatik und zu Informatiksystemen diskutiert werden.

Es zeigt sich zusammenfassend, dass mentale Modelle einen bedeutenden Stellenwert bei der Anwendung und Entwicklung von Systemen der Informatik haben. Mentale Modelle bilden die Grundlage zum Verständnis und für die Entwicklung von externen semantischen und technischen Modellen. Das Zusammenstellen und Evaluieren von nützlichen Metaphern und konzeptuellen Modellen zum Aufbau mentaler Modelle in der Informatik und im Informatikunterricht sollte Ausgangspunkt für weitere zahlreiche Arbeiten sein, um eine zukunftsorientierte Modellierungskompetenz im Allgemeinen und beim Umgang mit Informatiksystemen zu erzeugen.

2. Modelle in der Fachsprache der Informatik

2.1 Methodisches Vorgehen

Zur Untersuchung der Verwendung des Modell-Begriffs im Sprachgebrauch der Fachwissenschaft Informatik wurden alle deutschsprachigen, elektronisch verfügbaren Vorlesungsskripte aus Informatik-Fachbereichen von sieben Universitäten (HU Berlin, Dortmund, Oldenburg, Paderborn, Potsdam, Saarbrücken, Stuttgart) und zwei Technischen Universitäten (Karlsruhe, München) analysiert. Nicht berücksichtigt wurden Skripte von Veranstaltungen zur Bedienerschulung, zu Mathematikveranstaltungen für Informatiker, zu Seminaren, zur Angewandten Informatik²⁶ (entsprechend dem Verständnis im Informatik Duden ([Dud01], S. 295) und dem Fakultätentag [Arl81]) sowie Veranstaltungen der Informatik, die eindeutig für andere Fachbereiche gedacht sind. Folgevorlesungen vom gleichen Dozenten (z.B. Theoretische Informatik I und Theoretische Informatik II) wurden zu einem Skript zusammengefasst.

Die unter den Lehrstühlen der berücksichtigten Universitäten veröffentlichten Skripte oder Foliensammlungen wurden in das pdf-Dokumentenformat umgewandelt, um einen vertretbaren Untersuchungsaufwand in einem einheitlichen Dokumentenformat zu gewährleisten. Bei ca. 12% der gefundenen Skripte war eine akzeptable Umwandlung aus technischen Gründen nicht möglich. Diese Dokumente wurden nicht weiter berücksichtigt. Die 151 untersuchten Vorlesungsskripte stammen aus den Jahren 1995 bis 2001. Obwohl viele Lehrstühle keine Skripte oder

²⁶ Es ist zu erwarten, dass die Bindestrich-Informatiken zahlreiche Modelle der mit der Informatik verknüpften Fachwissenschaft enthalten, was die Untersuchung stark verfälschen würde. Andererseits können sich Themen aus der Angewandten Informatik für den Informatikunterricht als sehr geeignet erweisen.

Foliensammlungen veröffentlicht haben, konnte sichergestellt werden, dass im Wesentlichen alle Teilbereiche der Kerninformatik dieser Untersuchung zugrunde liegen.

Tabellen 1-3. Zuordnungsversuch der Veranstaltungen (s. Skriptnachweis im Anhang) zu Teilbereichen der Informatik entsprechend dem Fächerkatalog Informatik von 1976. In Klammern die Anzahl identischer Veranstaltungstitel.

01.00 Theoretische Informatik	Veranstaltungstitel (55 Skripte)
01 Automatentheorie	Automatentheorie und Logik Petri-Netze
02 Schaltwerktheorie	Einführung in die Fuzzy-Logik Logische Grundlagen der Informatik Logische Systeme der Informatik
03 Formale Sprachen	Formale Sprachen Formale Systeme
04 Algorithmentheorie, Rekursive Funktionen	Algorithmen in der Zahlentheorie Effiziente Algorithmen (4) Effiziente Algorithmen und Datenstrukturen (2) Evolutionäre Algorithmen Genetische und evolutionäre Algorithmen Approximationsalgorithmen Parallele Algorithmen (2)
05 Komplexitätstheorie	Berechenbarkeit Algorithmen und Komplexität Berechenbarkeit und Entscheidbarkeit Berechenbarkeit und Formale Sprachen Einführung in Algorithmen und Komplexität Einführung in Berechenbarkeit und Formale Sprachen Komplexitätstheorie (3)
06 Theorie der Programmierung	Datenstrukturen und Algorithmen (2) Datenstrukturen und Datenorganisation Funktionale und logische Programmierung Logische und funktionale Programmierung Warteschlangen in Rechensystemen Warteschlangennetze Grundlagen und Methoden funktionaler Programmierung
07 Informationstheorie, Kommunikationstheorie, Codierungstheorie	Kommunikation in parallelen Rechensystemen Theorie der neuronalen Netze Theorie und Spiele Algorithmische Codierungstheorie Automatisches Beweisen
08 Mathematische Modelle für Rechensysteme	Unschärfe Mengen Diskrete Strukturen I Lineare und kombinatorische Optimierung Optimierung
09 Sonstiges	Informatik A Informatik III (4) Informatik IV (3) Theoretische Informatik (2) Grundlagen der Theoretischen Informatik

02.00 Praktische Informatik	Veranstaltungstitel (74 Skripte)
01 Datenstrukturen, Datenorganisation	"in den Veranstaltungen integriert"
02 Programmier- und Dialogsprachen	Informatik II Programmiersprachen Syntaxanalyse Semantik von Programmiersprachen Informatik B (Grundvorlesung Praktische Informatik)
03 Programmertechnologie (heute: Softwareentwicklung)	Einführung in die Softwareentwicklung Grundlagen der Programmierung Modellierung von Benutzungsschnittstellen Programmierung von Benutzungsschnittstellen Gestaltung von Benutzerschnittstellen Objektorientierte Konzepte Objektorientierung Techniken des Softwareentwurfs

	Ausgewählte Kapitel der Softwaretechnik Komponentenmodelle Softwareengineering (2) Informatik III (systemnahes Programmieren) Nichtsequentielle Systeme und nebenläufige Prozesse
04 Übersetzerbau	Compiler für eingebettete Systeme Compilerbau (2) Übersetzer Übersetzung objektorientierter Programmiersprachen Übersetzung funktionaler und logischer Programmiersprachen
05 Betriebssysteme	Architektur von Verbundsystemen Betriebssysteme (3) Grid Computing Sicherheit in Rechnersystemen Systeme und systemnahe Programmierung Verteilte Systeme Zeitautomaten und andere Modelle für Realzeitsysteme Implementierungstechniken von Betriebssystemen Mobile verteilte Systeme Paralleles Rechnen Programmierung nebenläufiger Systeme Routing, Scheduling und Datenmanagement in verteilten Systemen Sicherheit in Rechnernetzen Systemnahe Software
06 Informationssysteme, Kommunikationssysteme	Architektur und Implementierung von Datenbanksystemen Datenbankimplementierung Datenbanksysteme (3) Informationssysteme Transaktionsorientierte Informationssysteme Verteilte und parallele Datenbanksysteme Datenbankeinsatz Information Retrieval Telekommunikation und Datenhaltung
07 Graphische Datenverarbeitung	Computergraphik (2) Bild im Computer Computeranimation
08 Simulation	Simulation Diskrete Simulation Modellbildung und Simulation ökologischer Systeme Scientific Computing (2)
09 Kognitive Verfahren und Systeme	Künstliche Intelligenz Wissensbasierte Systeme (2) Autonome Roboter Bildverstehen Informatik IV Kognitive Systeme Maschinelles Lernen Maschinensehen Robotik I Wissenaquisition, -repräsentation und -applikation
10 Sonstiges	Angewandte Aspekte der Kryptographie

03 Technische Informatik	Veranstaltungstitel (22 Skripte)
01 Schaltungstechnologie	Logik- und Steuerwerksynthese Hardware-Verifikation
02 Mikroprogrammierung	Entwurf eingebetteter Systeme
03 Rechnerorganisation	Planung von Rechnernetzen Rechnernetze und Rechnerkommunikation Schutz und Sicherheit in Rechensystemen Rechnerarchitektur (3) Rechnernetze (3)
04 Prozeßrechner	Echtzeitsysteme (2) Parallelrechner (2) Prozessrechnertechnik
05 Spezialrechner	Quantencomputer Symmetrische Multiprozessorsysteme
06 Peripherie	
07 Sonstiges	Technische Informatik I Technische Informatik II

Auch wenn die Zuordnung der Veranstaltungen zu den einzelnen Teilgebieten, teilweise sogar zu den drei Teilbereichen der Kerninformatik, schwierig und nicht immer eindeutig ist, wurden zu den erzeugten pdf-Dokumenten Indizes getrennt nach den drei Teilbereichen der Kerninformatik erstellt, um mögliche tendenziell unterschiedliche Begriffsverständnisse zu entdecken. Unter Verwendung dieser Indizes wurde für jeden Teilbereich eine Volltextsuche mit dem Programm Acrobat-Reader/Catalog und dem Suchschlüssel “*modell*” durchgeführt, der alle Wortstämme und Bedeutungen zum deutschen Modell-Begriff berücksichtigt (Modell, Modellbildung, modellieren etc.). Das englischsprachige oder altdeutsche Wort “model” wurde nicht berücksichtigt. Stichproben ergaben jedoch, dass die englischen Begriffe im Allgemeinen durch deutsche Modell-Begriffe ersetzt wurden.

Die mittels der Volltextsuche gefundenen Begriffe wurden in einer Datenbank gesammelt, zusammen mit einer Quellenangabe, dem Kontext der Begriffsanwendung und einem Textauszug, in dem der Begriff auftrat. Für die in der Datenbank verzeichneten Begriffe wurde anschließend ein Begriffsverständnis formuliert und eine modelltheoretische Einordnung durchgeführt.

In einem weiteren Schritt haben wir erneut eine Suche der "bereinigten" Begriffe²⁷ durchgeführt, um das Auftreten der Begriffe über alle Skripte bzw. alle Skriptseiten halb-quantitativ zu erfassen. Die Bezeichnung 'Halb-quantitativ' soll hier deutlich machen, dass zum einen die Basis der Untersuchung noch nicht ausreichend repräsentativ ist und zum anderen die Anzahl der elektronisch verfügbaren Skripte zu den Teilgebieten der Informatik unterschiedlich ist, so dass es zu statistischen Verzerrungen kommen kann. Durch die Halb-Quantifizierung lassen sich häufig auftretende Begriffe hervorheben. Ein Begriff wurde als "häufig auftretend" eingestuft, wenn er in mindestens 10 Skripten verwendet wird oder auf mindestens 9 Seiten in mindestens 3 Skripten vorkommt²⁸. Diese selektierten Begriffe dürften aus didaktischer Sicht von besonderem Interesse sein.

2.2 Auswertung – Allgemeiner Teil

Das Wort "modell" wird in 83% der untersuchten Skripte in irgendeiner Flexionsform verwendet²⁹. Durchschnittlich enthält jede zweite bis dritte Seite das Wort "modell". Schließt man von der Auftrittshäufigkeit des Wortes "modell" auf das Verwenden von Modellen in der Informatik, so ist dem Modell offensichtlich ein zentraler Stellenwert innerhalb der Fachwissenschaft zuzuordnen. Es existieren jedoch sowohl Skripte, in denen das Wort "modell" nicht verwendet wird, als auch Skripte, in denen das Verhältnis von Fundstellen und Seitenanzahl bei mindestens 1:1 liegt. Selbst bei gleichen Themenbereichen, beispielsweise der Komplexitätstheorie, kann der eine Autor ohne den Modellbegriff auskommen, während der andere ihn durchschnittlich auf jeder fünften Seite verwendet. Es scheint also Themenbereiche oder Autoren in der Informatik zu geben, die auch ohne das Wort "Modell" auskommen. Es sei an dieser Stelle schon angemerkt, dass die Informatik weitaus mehr Modelltypen im Sinne eines allgemeinen Modellbegriffs aufweist, als explizit als Modell bezeichnet werden (vgl. III 3.). Allerdings scheinen sich diese Modelle in der Fachsprache meist nicht als "modell" wiederzufinden, sondern "einfach" als Graph, Automat, usw. Dies führt uns zu einer noch durchzuführenden Diskussion (s. IV 4.) der von Peter Schefe aufgestellten

²⁷ Begriffe mit identischem Begriffsverständnis, aber unterschiedlicher Schreibweise (z.B. ER-Modell und Entity-Relationship-Modell) wurden zusammengefasst.

²⁸ Diese Festlegung erfolgte pragmatisch anhand der Betrachtung der resultierenden selektierten und nicht-selektierten Begriffe, wobei 10 Skripte bzw. 9 Seiten ca. der Hälfte der maximalen jeweiligen Auftrittshäufigkeit entspricht. Um auszuschließen, dass ein Begriff nur dadurch selektiert wird, dass er in einem Skript auf mehreren Seiten verwendet wird, wurde die Nebenbedingung aufgestellt, dass der Begriff zusätzlich in mindestens 3 Skripten angegeben worden sein musste. Wird das erste Selektionskriterium von 10 auf 7 Skripte reduziert, ergeben sich keine neuen Erkenntnisse, so dass diese Bedingung als trennscharf gewertet werden kann. Das zweite Kriterium ist nicht so trennscharf, da bei Reduktion der Seitenanzahl pro Schritt ca. 3 Modelle neu erfasst werden. Abgesehen vom Automatenmodell, das mit den Maschinenmodellen berücksichtigt wird, werden diese von uns als wenig bedeutsam eingestuft.

²⁹ Interessant wäre ein Vergleich mit anderen Wissenschaften, die als Schulfächer von Bedeutung sind.

Empfehlung, "den Modellbegriff nicht zu mehr zu verwenden, es sei denn, die spezielle Bedeutung ... geht aus dem Kontext eindeutig hervor" ([Scheff99], S. 134).

In 92 Dokumenten (61%) wurde der Vorgang des Modellierens mit dem Wort "modelliert" oder "modellieren" angezeigt, meist im Sinne von „ein Modell modelliert ein anderes Modell“. Dies weist zum einen auf die Bedeutung semantischer „Modellketten“ und zum anderen auf einen konstruktiven Umgang der Informatik mit Modellen hin, d.h. Modelle werden neu konstruiert oder modifiziert, und nicht nur verwendet.

Häufig wird dem Wort "Modell" ein Modifizierer in Form eines Adjektivs oder eines Nomen zugeordnet. Die Modifizierer dienen vor allem:

- einer Präzisierung des Modelltyps
 - nach Art der Zustandsübergänge: statisch, dynamisch (diskret, kontinuierlich, deterministisch, stochastisch, nichtdeterministisch), analog, ereignisorientiert.
 - nach der Sichtweise bei der Modellierung: abstrakt, objektorientiert, strukturbasiert, zustandsorientiert, verhaltensbasiert, eigenschaftsbasiert, kompositional, statistisch, perzeptuell, kognitiv, handlungspsychologisch, minimal.
 - nach der "inneren" Modellstruktur: analytisch, applikativ/funktional, (nicht-)logisch, assoziativ, hierarchisch, taxonomisch, relational, geschlossen, parallel, ökonomisch, konzeptuell.
 - nach der "Natur" des Modells: (nicht-)materiell, mechanisch, formal, operational, mathematisch, semantisch, implementiert, mental, physiologisch, visuell, parametrisiert, physikalisch, kinematisch.
- einer konkreten Bezeichnung des Modells:
 - mittels einer Metapher: Call-Back-, CD-Spieler-, Domänen-, White-box-, Client-Server-, Schichten-, Phasen-, Master-Slave-, Baummodell, Entity-Relationship-Modell.
 - eines Autors: Amdahl-, Markov-, Hufmann-, Herbrandmodell.
 - oder einer Angabe zum Einsatzgebiet des Modells:
 - Speicher-, Zugriffs-, Bedienungs-, Referenz-, Hardware-, Kommunikations-, Programmier-, Farb-, Darstellungs-, Maschinen-, System-, Geschäfts-, Benutzer-, Daten-, Datenbank-, Sprach-, Prozess-, Meta-, Leistungs-, Last-, Simulations-, Kamera-, Transistor-, Roboter-, Zeit-, Fehler-, Durchsatz-, Warte-, Rechen-, Kosten-, Denk-, Berechnungs-, Objekt-, PRAM-Komponentenmodell, u.a.

Bereits anhand der Modifizierer lässt sich erkennen, dass die in Abb. 3 (S. 31) genannten Modelltypen in der Informatik vorkommen und informatisches Modellieren sehr vielfältig ist.

2.3 Die Modellbegriffe im Detail

Um die unterschiedlichen Verwendungsweisen der Begriffe in den Skripten aufzuzeigen und eine Gruppierung mittels Metamodellen durchzuführen, die zu im Wesentlichen fünf Hauptmodelltypen führen wird, soll das Begriffsverständnis zu den halb-quantifizierten Modellbezeichnungen jeweils kurz erläutert werden. Die für einige Metamodelle neu eingeführten, d.h. in den Skripten nicht verwendeten, Bezeichnungen sind mit einem Stern * gekennzeichnet.

Die graphischen Übersichten zu den Modellbegriffen (Abb. 7, 9, 10) zeigen, der Übersichtlichkeit geschuldet, nur die, aufgrund der bereits genannten Kriterien, hervorgehobenen Begriffe. Eine detailliertere Graphik befindet sich im Anhang.

Berücksichtigt man auch den englischsprachigen Ausdruck „model“ beziehungsweise „modeling“ sind zwei weitere Begriffe hervorzuheben: „Model Checking“ und „Unified modeling language“. Diese wurden den Übersichten hinzugefügt.

Praktische Informatik

In den der praktischen Informatik zugeordneten 74 Skripten fanden sich mehr als 250 unterschiedliche Modell-Begriffe, die durch die Selektionskriterien auf fast 50 Begriffe reduziert werden konnten. Dabei ist uns bewusst, dass eventuell ebenso bedeutende Modellbegriffe durch das Raster fallen, die bei einer größeren Literaturbasis vielleicht erfasst würden.

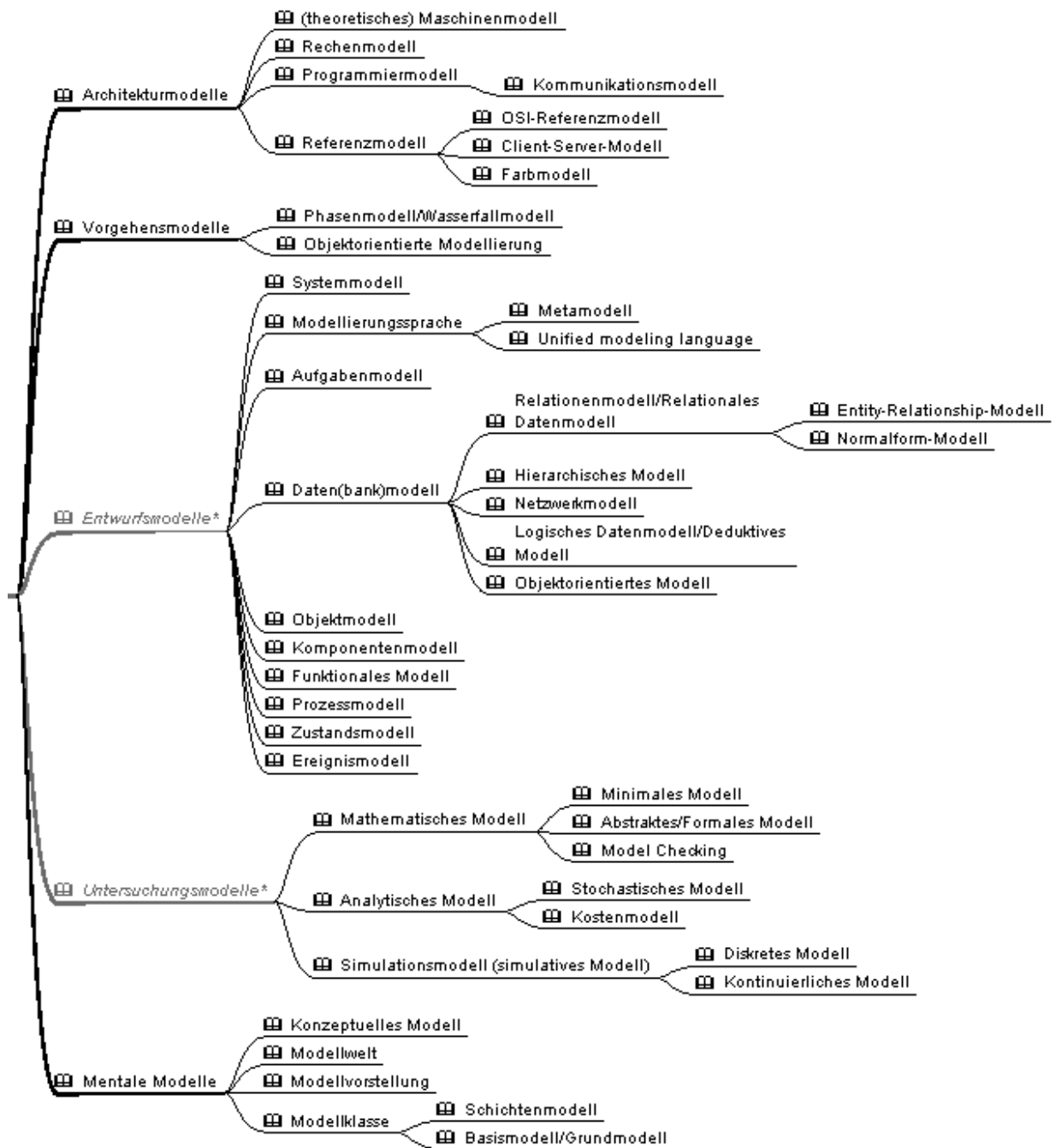


Abb. 7 Halb-quantifizierte Modelle in der Praktischen Informatik

- **Architekturmodelle** sind fachsprachliche Beschreibungen von "allgemeinen-fachspezifischen" Konzepten, die den zu erstellenden technischen Systemen und deren Entwürfen zugrundegelegt werden (konventionalisierte Vorlagen). Zur Veranschaulichung werden unterstützend graphische Darstellungsmodelle verwendet.
 - (theoretisches) Maschinenmodell

Unter Maschinenmodellen werden einerseits hardware-orientierte Konzepte von Rechnerarchitekturen (SISD, MIMD) und andererseits abstrakte, theoretische Automaten verstanden (Turingmaschine, Automatenmodell), die elementare Bauelemente und Arbeitsweisen von Maschinen beschreiben. Während erstere vor allem grundlegende Bauprinzipien einer Datenverarbeitungsanlage darlegen, dienen letztere auch der erkenntnistheoretischen Analyse von Problemen hinsichtlich ihrer Berechenbarkeit oder theoretischen Laufzeit. Abstrakte Maschinenmodelle werden daher teilweise als Berechnungs-, Rechen- oder Berechenbarkeitsmodelle bezeichnet. Der Begriff der Berechenbarkeitsmodelle umfasst jedoch auch die mit den abstrakten Maschinenmodellen in direkten Zusammenhang stehenden formalen Sprachen.
 - Rechenmodell

Rechenmodelle beschreiben grundlegende Konzepte, die Programmiersprachen zugrunde gelegt werden: imperativ-prozedural, funktional-applikativ, logisch-deklarativ, aber auch objektorientiert oder zustandsorientiert. Diese Konzepte werden üblicherweise auch als Programmierparadigmen bezeichnet.
 - Programmiermodell

Es lassen sich drei Begriffsverständnisse aufzeigen: im Sinne eines Programmierparadigmas, als abstraktes Maschinenmodell und als grundlegendes Konzept für die Interaktion von parallelen Prozessen. Letzteres scheint jedoch vorherrschend zu sein. Programmiermodelle werden dann unterschieden in Kommunikationsmodelle, die Nachrichten austauschen, und Kooperationsmodelle, die auf gemeinsame Datenbereiche zugreifen.

 - Kommunikationsmodell

Kommunikationsorientierte Programmiermodelle lassen sich nach verschiedenen Dimensionen unterscheiden: zeitliche Kopplung der Prozesse, Direktionalität der Kommunikation und andere. Teilweise wird das ISO-Referenzmodell als Kommunikationsmodell bezeichnet.
 - Referenzmodell

Referenzmodelle beschreiben Vereinbarungen zu technischen Konzepten und Prinzipien. Hierzu zählen in der Informatik vor allem das OSI-Referenzmodell sowie die Client-Server-Architekturen. Das Farbmodell ist für das Teilgebiet Computergraphik von Bedeutung.

 - OSI-Referenzmodell

Das OSI-Schichtenmodell der International Organization for Standardization (ISO) aus dem Jahre 1979 gliedert ein Informatiksystem in geschützte Kommunikationsprotokollebenen und hat sich als Standard für Kommunikationsvorgänge etabliert.
 - Client-Server-Modell

Client-Server-Architekturen beschreiben prinzipielle Aufbauten von Rechnernetzstrukturen.
 - Farbmodell

Beschreibungen zur (physikalischen) Erzeugung und Zusammensetzung von Farben auf Computersystemen.

- **Vorgehensmodelle** beschreiben Aktivitäten, die auszuführen sind, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Sie enthalten Hinweise zu benötigten oder zu erstellenden Dokumenten, den Zielen einzelner Phasen oder Arbeitsschritte, sowie zu einsetzbaren Verfahren und Hilfsmitteln. Der Anteil der Fachsprache ist im Allgemeinen geringer als bei Architekturmodellen, da insbesondere die Dokumentation des Prozesses auch fachfremden Beteiligten kommunizierbar sein muss. Vorgehensmodelle beruhen i.d.R. auf bestimmten Sicht- oder Denkweisen, die die Ergebnisse des Prozesses beeinflussen. Es existieren vor allem Vorgehensmodelle für den Gesamtprozess der Softwareentwicklung, teilweise auch für einzelne Phasen (z.B. zum Qualitätsmanagement).
 - Phasenmodell oder Wasserfallmodell

Das Wasserfallmodell, auch Phasenmodell oder Software Life Cycle genannt, gliedert den Softwareentwicklungsprozess in einzelne Phasen, die im Wesentlichen nacheinander durchlaufen werden. Jede Phase schließt mit einem formalisierten Dokument ab, das eine Grundlage für die nachfolgenden Phasen bildet.
 - Objektorientierte Modellierung

In der Praxis der Softwareentwicklung muss das sequentielle Durchlaufen einzelner Phasen des Wasserfallmodells meist durchbrochen werden. Insbesondere für komplexere Probleme wurden Vorgehensmodelle entwickelt, die einen "Rückschritt" zu einzelnen Phasen oder eine nebenläufige Bearbeitung von Phasen vorsehen, wie bei der objektorientierten Modellierung.
- **Entwurfsmodelle*** stellen die Dokumentation von Ergebnissen der Aktivitäten bei der Erstellung eines konkreten technischen Systems dar. Sie können in natürlicher Sprache, einer formalen Sprache oder in graphisch-symbolischer Art und Weise formuliert werden.
 - Systemmodell

Ein Systemmodell wird in der Automatentheorie in Form einer Mengenstruktur verwendet. Häufiger ist eine eher unspezifischere Verwendung als Modell beliebigen Typs zu einem zu entwerfenden System. Als Entwicklungslinien in der Systemmodellierung lassen sich seit 1960 unterschiedliche Entwurfsmodelle aufzeigen, die in dem objektorientierten Modell zusammengefasst wurden.

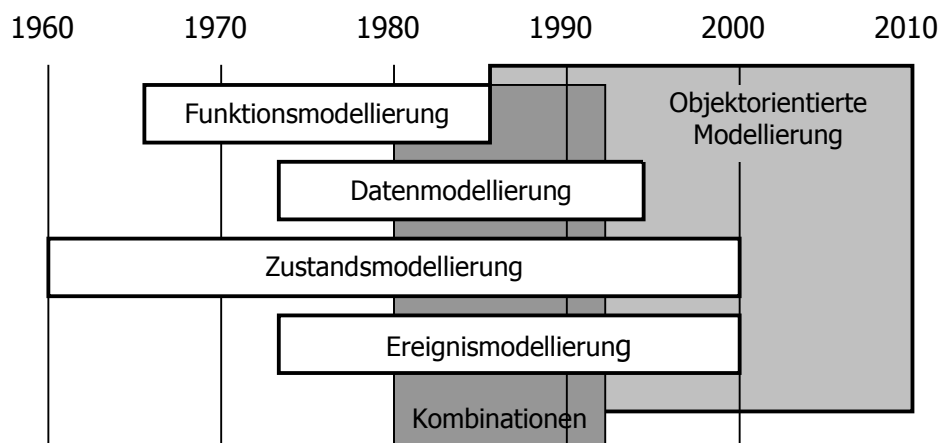


Abb. 8 Entwicklungslinien der Systemmodellierung (nach [Pre01])

- Modellierungssprache

Modellierungssprachen sind allgemein Beschreibungsformen, die in den verschiedenen Phasen der Softwareentwicklung (z.B. Programmiersprachen) oder bei der theoretischen

Analyse von Problemen (s. u. zu Untersuchungsmodellen) eingesetzt werden. Im engeren Sinne handelt es sich um Modelle für die Entwurfsphase der Softwareentwicklung (aktuell die Unified Modeling Language). Diese sind häufig graphischer Natur und erfordern zusätzliche schriftsprachliche Erläuterungen oder ein den Kommunikationspartnern geläufiges Denkmodell.

- Unified modeling language (UML)
Eine Sprache zur Veranschaulichung und Dokumentation von Ergebnissen insbesondere im objektorientierten Softwareentwicklungsprozess, die im Wesentlichen aus verschiedenen Diagrammtypen zu unterschiedlichen Sichtweisen auf ein System besteht. Die UML vereinheitlicht Methoden älterer Entwicklungslinien der Systemmodellierung.
- Metamodell
Zu jeder Modellierungssprache existiert i.d.R. ein Metamodell, welches die Syntax, Semantik und Pragmatik der Sprache beschreibt oder gemeinsame Komponenten von Modellen zusammenfasst.

◦ Aufgabenmodell

Das Aufgabenmodell wird basierend auf dem Ergebnis der Analyse einer Aufgabe erstellt und beschreibt die Funktionalität des gegebenen Gesamtsystems in strukturierter, häufig modularer Weise. Es kann auch Angaben zur Reihenfolge von Arbeitsabläufen, zum Systemzweck und zu den Aufgaben des Menschen machen. Die Aufgabenmodellierung (Problemanalyse) stellt eine Phase im Softwareentwicklungsprozess vor dem Systementwurf dar. Als Methoden werden Beobachtungen, Interviews und andere empirische Verfahren eingesetzt (vgl. sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden), die die mögliche bzw. geplante Einbettung eines Informatiksystems untersuchen. Die Modellierung des IST-Zustands wird häufig auch als Aufgabenanalyse, die des SOLL-Zustands als Aufgabensynthese bezeichnet. Im Phasenmodell wird das resultierende Aufgabenmodell als Anforderungsdefinition bezeichnet.

◦ Daten(bank)modell

Recht häufig verwendeter Begriff, der allgemein zur Beschreibung von Daten und ihrer strukturellen wie funktionalen Beziehungen untereinander verwendet wird. Breit akzeptierte Datenmodelle sind: das relationale Modell, das Netzwerkmodell, logische und objektorientierte Datenmodelle. Häufig wird "Datenbankmodell" mit „Datenmodell“ gleichgesetzt.

- Relationenmodell/Relationales Datenmodell
Zwischen dem mathematischen Relationenmodell und dem relationalen Datenmodell wird meist nicht unterschieden. Beim Relationenmodell werden alle Daten in Form von mathematischen Relationen (Teilmenge eines meist zweidimensionalen kartesischen Produkts) repräsentiert.
- ◆ Entity-Relationship-Modell (ER-Modell)
Das ER-Modell ist ein computerunabhängiges Datenmodell und eine Notationsform, um die "Welt" in abgrenzbare Objekte zu unterscheiden, die zueinander in Beziehung stehen und bestimmte Eigenschaften aufweisen.
- ◆ Normalform-Modell
Das konzeptuelle ER-Modell lässt sich gut auf das implementierbare relationale Datenmodell übertragen. Die Transformation in ein Normalform-Modell erleichtert die maschinelle Verarbeitung. Dabei werden beispielsweise mengenwertige Attribute atomarisiert (1. Normalform). Normalformen werden für zahlreiche weitere Zwecke eingesetzt, dann jedoch i.d.R. nicht als Modelle bezeichnet.

- Hierarchisches Modell und Netzwerkmodell

Das Netzwerkmodell und das hierarchische Datenmodell sind im Gegensatz zum relationalen Datenmodell nicht mengen- sondern satzorientiert, d.h. um einen Datensatz zu "erreichen" muss innerhalb der zugrundegelegten Struktur (Netz oder Baum) von Datensatz zu Datensatz "navigiert" werden. Beide Modelle haben derzeit nur noch historische Bedeutung.

- Logisches Datenmodell oder Deduktives Modell

Bei den deduktiven Datenbanksystemen handelt es sich um eine Erweiterung des relationalen Datenmodells um eine Deduktionskomponente, die auf dem Prädikatenkalkül (Logik 1. Stufe) beruht. Ziel ist es, aus den vorhandenen Daten weiteres Wissen zu gewinnen.

- Objektorientiertes Modell

Bei der objektorientierten Datenmodellierung wird die strukturelle Repräsentation mit der verhaltensmäßigen (operationalen) Komponente in einem Objekt vereint. Dieses Modell kann einfacher bei komplexeren Anwendungsbereichen verwendet werden als das relationale Modell, da beispielsweise neue Objekte direkt – ohne Änderung der konzeptuellen Struktur – gespeichert werden können und eine Anbindung an Anwendungen nahtlos erfolgen kann. Die Nachteile des objektorientierten Modells, wie geringe Effizienz und fehlendes mathematisches Kalkül, versucht man mit objektrelationalen Datenmodellen zu vermindern.

- Objektmodell

Allgemein kann mit einem Objektmodell eine ikonische, digitale "Schablone" zu dem Original gemeint sein oder eine graphisch-symbolische Repräsentation. Digitale Schablonen werden als Objektmodell beispielsweise bei der Objekterkennung eingesetzt. Beim Softwareentwurf werden im Objektmodell die identifizierten Komponenten eines betrachteten Originals in meist graphisch-symbolischer Form beschrieben.

- Komponentenmodell

Eine Komponente ist ein Stück (wiederverwendbare) Software, das eine zusammenhängende Funktionalität bietet. Ein Komponentenmodell umfasst das Wissen, welches notwendig ist, die einzelnen Komponenten eines Systems zu definieren bzw. ein System aus bereitgestellten Komponenten zu konfigurieren. Eine Komponente ist immer für die Verwendung innerhalb eines konkreten Komponentenmodells ausgelegt. Es wird zwischen dem Begriff Komponente (statische Beschreibung) und Komponenteninstanz unterschieden (vergleichbar mit den Begriffen Klasse und Objekt). Jede Komponente unterstützt eine oder mehrere Schnittstellen, über deren Operationen man auf die Dienste einer Komponenteninstanz zugreifen kann. Komponenten werden durch Klassen implementiert. Es lassen sich strukturbasierte und funktionale Komponentenmodelle unterscheiden.

- Funktionales Modell

Die Aufgabenanalyse führt zu einem Aufgabenmodell, an das sich der Entwurf anschließt. Das funktionale Modell ist der Ausgangspunkt der Entwicklung, indem Objekte ausgewählt und ihre Methoden bestimmt werden. Das funktionale Modell wird mit Szenarios evaluiert. Eine Kompatibilität mit dem Benutzermodell sollte bestehen. Eine zweite Bedeutung hat das funktionale Modell im Sinne eines Programmierparadigmas (s.o. Rechenmodell).

- Prozessmodell

Zum Prozessmodell fanden sich drei unterschiedliche Begriffsverständnisse: zur Beschreibung der Prozessverwaltung und Implementierung bei Betriebssystemen, zur Beschreibung des zeitlichen Verhaltens eines Produktionsprozesses und als kognitionspsychologisches Modell zur Beschreibung des natürlichen Sprechens im Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz.

- Zustandsmodell

Zustandsmodelle beschreiben die möglichen Zustände, die Automaten oder Prozesse (s. auch Prozessmodell) einnehmen können.

- Ereignismodell

Eine Beschreibung, wie z.B. in Java oder bei Benutzungsschnittstellen Ereignisse bearbeitet werden. Frameworks³⁰ steuern z.B. die Ereignisbehandlung.

- **Untersuchungsmodelle*** dienen der Erstellung von Prognosen für Informatiksysteme oder der Bewertung von Systemen zu unterschiedlichsten Kriterien, insbesondere bezüglich deren Leistung, Kosten und Auslastung. Sie werden meist in formaler, mathematischer Notation beschrieben und sind von starker Abstraktion, um auch quantitative Aussagen erzielen zu können. Unterschieden werden das mathematische Modell, analytische Modelle und simulative Modelle (Simulationsmodelle).

- Mathematisches Modell

Mathematische Modelle beschreiben mit abstrakten Symbolen und Notationen Objekte und Zusammenhänge zwischen ihnen.

- Minimales Modell

Im Sinne der mathematischen Modelltheorie ist eine Interpretation I ein Modell einer Theorie T , wenn sie für jede Aussage in T wahr ist. Eine Interpretation I ist ein minimales Modell von einer Theorie T , wenn I ein Modell von T ist und es keine Interpretation I_0 gibt, die auch ein Modell von T ist, und I_0 in I enthalten ist.

- Abstraktes und formales Modell

Zu den abstrakten Modellen werden mathematische Modelle und Graphen gezählt. Abstrakte Datentypen werden nicht als Modelle bezeichnet. Abstrakte Modelle dienen sowohl als Vorbild (für eine Computergraphik, für ein System) als auch als Abbild (Wirkungszusammenhänge).

- Model Checking

Beweisverfahren zur Verifikation, dass ein bestimmtes Modell eine Spezifikation erfüllt (im Sinne der mathematischen Modelltheorie).

- Analytisches Modell³¹

Analytische Modelle gehen oft von Voraussetzungen aus, die am System nicht erfüllt sind (z.B. Annahmen über Verteilungen). Das Systemverhalten wird durch mathematische Größen und die Beziehungen zwischen ihnen beschrieben. Der Berechnungsaufwand ist gegenüber Simulationsmodellen ("numerischen" Modellen) geringer und funktionale Zusammenhänge ergeben sich direkt aus dem Modell. Der Einsatzbereich ist jedoch aus Gründen der mathematischen Modellierbarkeit beschränkt. Für analytische Modelle lassen sich folgende Unterscheidungsmerkmale angeben: deterministisch, stochastisch, zeitabhängig u.a. Verwendet werden analytische Modelle für betriebswirtschaftlich-orientierte Analysen im weitesten Sinne. Die Darstellung erfolgt häufig mit mathematischen Symbolen (Lineare Gleichungssysteme, Differential- und Differenzengleichungssysteme) und als Graph. Ziel des Modellierens ist die Leistungsmessung oder -prognose von (technischen) Systemen.

- Stochastisches Modell

Stochastische Untersuchungsmodelle berücksichtigen zufällig auftretende Ereignisse.

- Kostenmodell

Kostenmodelle dienen zur Aufwandsabschätzung bei z.B. Datenbankzugriffen.

³⁰ Menge von zusammenhängenden Klassen, die ein abstraktes Design für eine Problemfamilie darstellen

³¹ Der ähnlich-lautende Begriff Analysemodell wurde nur im Sinne eines Entwurfsmodells verwendet.

- Simulationsmodell (simulatives Modell)

Simulationsmodelle beschreiben in statischer Weise zumeist ein Systemverhalten mittels mathematischer Größen und der Beziehungen zwischen ihnen, enthalten jedoch auch Größen, die sich in Abhängigkeit von der Zeit dynamisch ändern ((ereignis-)diskret oder kontinuierlich). Diese Modelle werden unter anderem zur Nachahmung von Systemverhalten aus anderen Fachbereichen auf Rechensystemen eingesetzt. Im Kernbereich der Fachwissenschaft Informatik werden Simulationsmodelle vorwiegend zur Untersuchung von Informatiksystemen eingesetzt. Der Aufwand zur Erstellung und Berechnung von Simulationsmodellen ist im Allgemeinen wesentlich höher als bei Analysemodellen, allerdings ist der Einsatz von Simulationsmodellen nicht durch die mathematische Modellierbarkeit begrenzt. Es werden vor allem diskrete, ereignis-diskrete und kontinuierliche Simulationsmodelle unterschieden.

- Diskretes Modell
Modelle, deren Elemente ihren Zustand nur zu bestimmten (i.a. nicht äquidistanten) Zeitpunkten ändern.
- Kontinuierliches Modell
In kontinuierlichen Modellen erfolgt die Darstellung der Zeit in Form realer Werte. Zustandsgrößen sind meist stetige Funktionen der Zeit. Kontinuierliche Modelle können typischerweise in Form von Differentialgleichungssystemen beschrieben werden.

- **Mentale Modelle**

Mentale Modelle sind interne semantische Modelle, die externen semantischen Modellen, wie Vorgehens- oder Entwurfsmodellen, zugrundeliegen bzw. vorausgehen (vgl. II 4.). Eine ganze Reihe von psychologischen Effekten sind für die Softwaretechnik von Bedeutung. Vorhandene mentale Modelle beeinflussen beispielsweise das deduktive Schließen. Dieses lässt sich in der Softwaretechnik ausnutzen, indem Metaphern auf bekannte Gegebenheiten verweisen, die zu der unbekannten, neuen Situation eine erkennbare Ähnlichkeit aufweisen (vgl. III 1.3). Bei der Gestaltung von Benutzerschnittstellen ist die Benutzersicht zu berücksichtigen, die sich meist von der systemorientierten des Softwareentwicklers unterscheidet (Perspektivenproblem). Das Informatiksystem muss die Bildung adäquater mentaler (konzeptueller) Modelle unterstützen.

- Konzeptuelles Modell

Menschen bilden sich konzeptuelle (begriffliche) Modelle von Geräten und Objekten, die zu bedienen sind und in denen (sichtbare und unsichtbare) Operationen ablaufen. Das konzeptuelle Modell wird verwendet, um Operationen auf dem Objekt mental zu simulieren.

- Modellwelt

Wird größtenteils im Sinne einer Sichtweise in der Modellierung verwendet, die sich insbesondere der Abgrenzung zur Realität und zu anderen Modellen bewusst ist.

- Modellvorstellung

Steht meist für Ziele, die das Subjekt mit dem Modell gedanklich verbindet.

- Modellklasse

Einerseits werden Modelle aufgrund von Gemeinsamkeiten zu „Modellklassen“ zusammengeführt. Andererseits werden „Klassen“ in der objektorientierten Modellierung zu Modellklassen verbunden.

- Schichtenmodell
Dieser Modelltyp findet sich in der Informatik häufig bei der Beschreibung von sicherheitsorientierten Rechnerarchitekturen.
- Basismodell/Grundmodell

Technische Informatik

Für die technische Informatik konnten in den untersuchten 22 Skripten annähernd 100 unterschiedliche Modellbegriffe herausgestellt werden. Knapp 40% der Begriffe finden sich in der Praktischen Informatik wieder. Dazu zählen insbesondere die Begriffe, die halb-quantifiziert wurden.

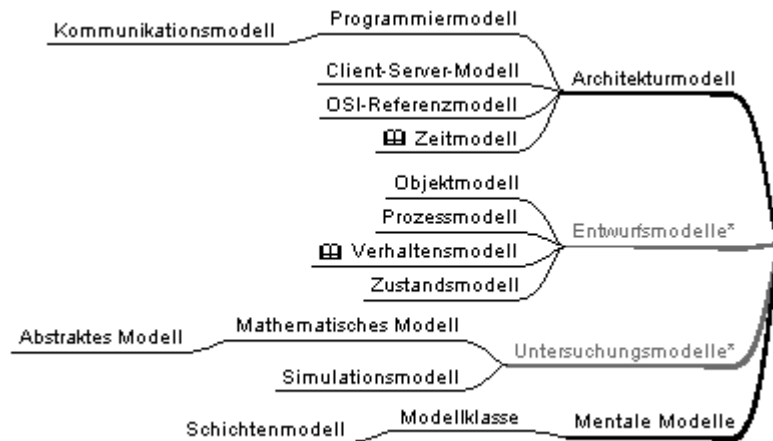


Abb. 9 Halbquantifizierte Modelle in der Technischen Informatik

Es deutet sich an, dass die Technische Informatik bezüglich des Sprachgebrauchs keinen nennenswerten zusätzlichen Beitrag zur Modellierung liefert.

- Zeitmodell

Es existieren verschiedene Ansätze zur Modellierung von Zeit in einem Informatiksystem (vgl. a. Simulationsmodelle). Im Zusammenhang mit der Verifikation von Hardware werden verschiedene Arten der Zeitmodellierung genannt: linear, verzweigend, diskret, kontinuierlich, Intervalle u.a. Wartezeit- und Antwortzeitmodelle dienen der Analyse des Verhaltens von Informatiksystemen.

- Verhaltensmodell

Ebenfalls im Rahmen der Hardware-Verifikation werden VHDL-Verhaltensmodelle verwendet. VHDL stellt eine Hardware-Beschreibungssprache dar, die beim Entwurf von Schaltungen eingesetzt wird. Sie ist verwandt mit der Programmiersprache ADA.

Theoretische Informatik

Auch in den 55 analysierten Skripten der Theoretischen Informatik finden sich zahlreiche Begriffe wieder, die für die praktische Informatik aufgezeigt wurden (ca. 40%).

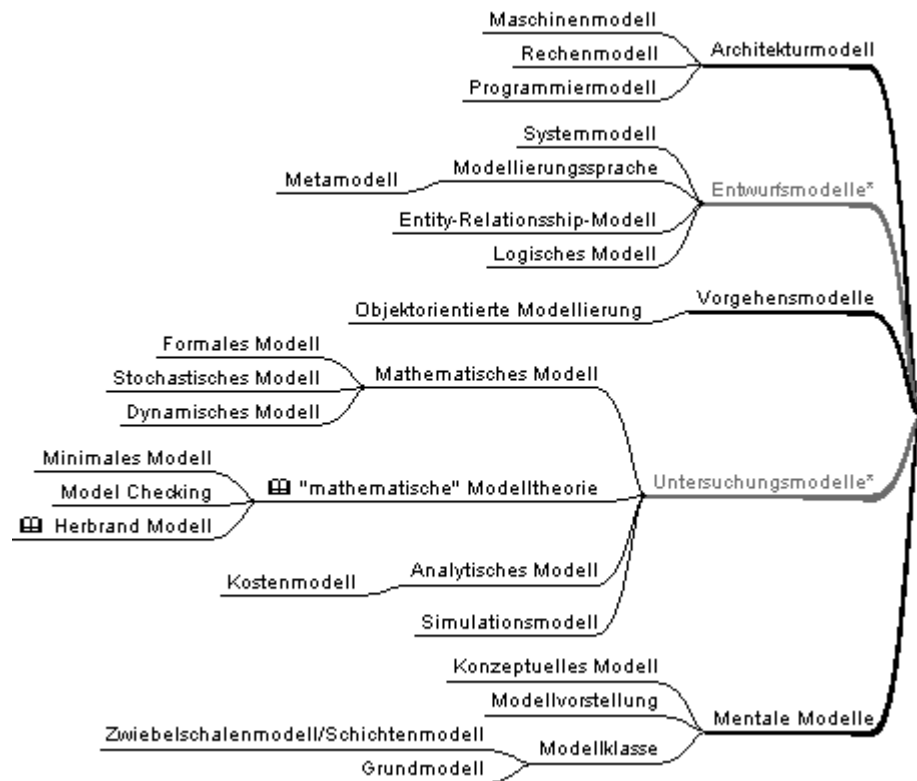


Abb. 10 Halbquantifizierte Modelle in der Theoretischen Informatik

Bei den halb-quantifizierten Begriffen sind im Wesentlichen zwei zu nennen, die typisch für die Theoretische Informatik sind: Modell im Sinne der mathematischen Modelltheorie (s. S. 24) und Modellierungssprache (s.o.). Insbesondere sogenannte Herbrand-Modelle, die in der Logik und logischen Programmierung von Bedeutung sind, werden häufig genannt.

Fazit

In den Kernbereichen der Informatik wird der Modellbegriff fast ausschließlich im Sinne eines semantischen oder graphischen Modells verwendet. Technische Modelle werden eher als "Systeme" bezeichnet. Ein nennenswertes unterschiedliches Modellverständnis zu gleichen Begriffsbezeichnungen konnte innerhalb der drei Teilbereiche der Kerninformatik nicht festgestellt werden.

Die Verwendung des Wortes "Modell" in den Skripten erlaubt keine endgültige Aussage zur Verwendung von Modellen in der Informatik, sondern nur zur Verwendung des Begriffs im Sprachgebrauch. Allerdings werden verschiedene Begriffsverständnisse erkennbar und klassifizierbar. Es lassen sich in allen drei Teilbereichen der Kerninformatik fünf Hauptmodelltypen für die Informatik herausstellen: Architektur-, Entwurfs-, Untersuchungs-, Vorgehensmodelle und mentale Modelle.

3. Vielfalt der Modelle in der Informatik

Es ist ein Ziel dieses Abschnitts den Nachweis zu erbringen, dass die Informatik und Informationstechnik in umfassenderweise Modelltypen einsetzt. Dazu versuchen wir der Systematik von Stachowiak Modelle der Informatik zuzuordnen. Eine eindeutige Zuordnung von informatischen Modellen zu bestimmten Modelltypen nach Stachowiak kann jedoch nicht stets erfolgen.

3.1 Graphische Modelle in der Informatik

Ikonisch-graphische Bildmodelle, die i.d.R. ohne weitere Erläuterungen verständlich sind, finden sich in der Informatik im Bereich der Software-Ergonomie: Piktogramme unterstützen den Benutzer bei der Bedienung von Soft- und Hardware, indem Vertrautes teilschematisch abgebildet wird und damit eine Assoziation (z.B. mit der Funktion "Datei löschen") erzeugt wird.

Der Computer ist zu einem wichtigen Medium geworden. Für jegliche Visualisierung, mit der Information „in traditioneller Weise“ repräsentiert und kommuniziert wurde, muss für den Computer ein entsprechendes Bildmodell gefunden werden: digitale Bilder und Filme, die auf dem Monitor dargestellt werden, technische Zeichnungen, Kunstobjekte sowie – im Übergang zu den technischen Modellen – die Holographie. Dabei gilt es Vor- und Nachteile von Modelleigenschaften gegeneinander abzuwägen (z.B. Bildauflösung gegenüber Verarbeitungsgeschwindigkeit). Die Entwicklung von Veranschaulichungsmodellen für informatische und fachfremde Modelle ist nach Wedekind ([Wed98]) eine wichtige Aufgabe der Informatik.

Im Bereich der Softwareentwicklung werden verschiedenste Notationsformen verwendet. Mit der Unified Modelling Language UML intendieren Booch, Rumbaugh und Jacobson ([Boo99]) eine Vereinheitlichung der verbreitetsten Methoden für die objektorientierte Softwareentwicklung. Die UML stellt dazu eine Vielzahl unterschiedlicher Darstellungsmodelle zur Verfügung, die in den verschiedensten Phasen des Softwareentwicklungsprozesses eingesetzt werden können: Strukturdiagramme (Klassen- und Paketdiagramme), Verhaltensdiagramme (Anwendungsfall, Interaktions-, Sequenz-, Kollaborations- Zustands- und Aktivitätsdiagramme) und Implementierungsdiagramme (Komponenten- und Einsatzdiagramme). Hubwieser ([Hub00]) schlägt vor, diese Modelle (er spricht von Modellierungstechniken) in didaktisch reduzierter Form als Kern einer Schulinformatik zu verwenden.

Weitere graphische Darstellungsmodelle finden sich in der Theoretischen Informatik (Graphen, Bäume, Darstellungen der Turingmaschine oder der Registermaschine), in der Technischen Informatik (Schaltbilder von logischen Schaltgattern oder Rechnerarchitekturen), in der Praktischen Informatik (OSI-Referenzmodell, Schichtenmodelle, ...) usw. (s.a. III 2.3).

Darstellungsmodelle und Bildmodelle werden in der Informatik häufig auch als Zwischenschritte zur Konstruktion von enaktiven Modellen eingesetzt.

Es scheint, dass mit den Modellen der UML zahlreiche Darstellungsmodelle der AMT abgedeckt werden, was für eine besondere Stellung derartiger Modelle in der Schulinformatik sprechen würde. Die Bedeutung von Graphen, beispielsweise für die Theoretische Informatik, kommt jedoch bei alleiniger Behandlung der UML oder einer Beschränkung der Schulinformatik auf die Softwareentwicklung nicht zum Ausdruck.

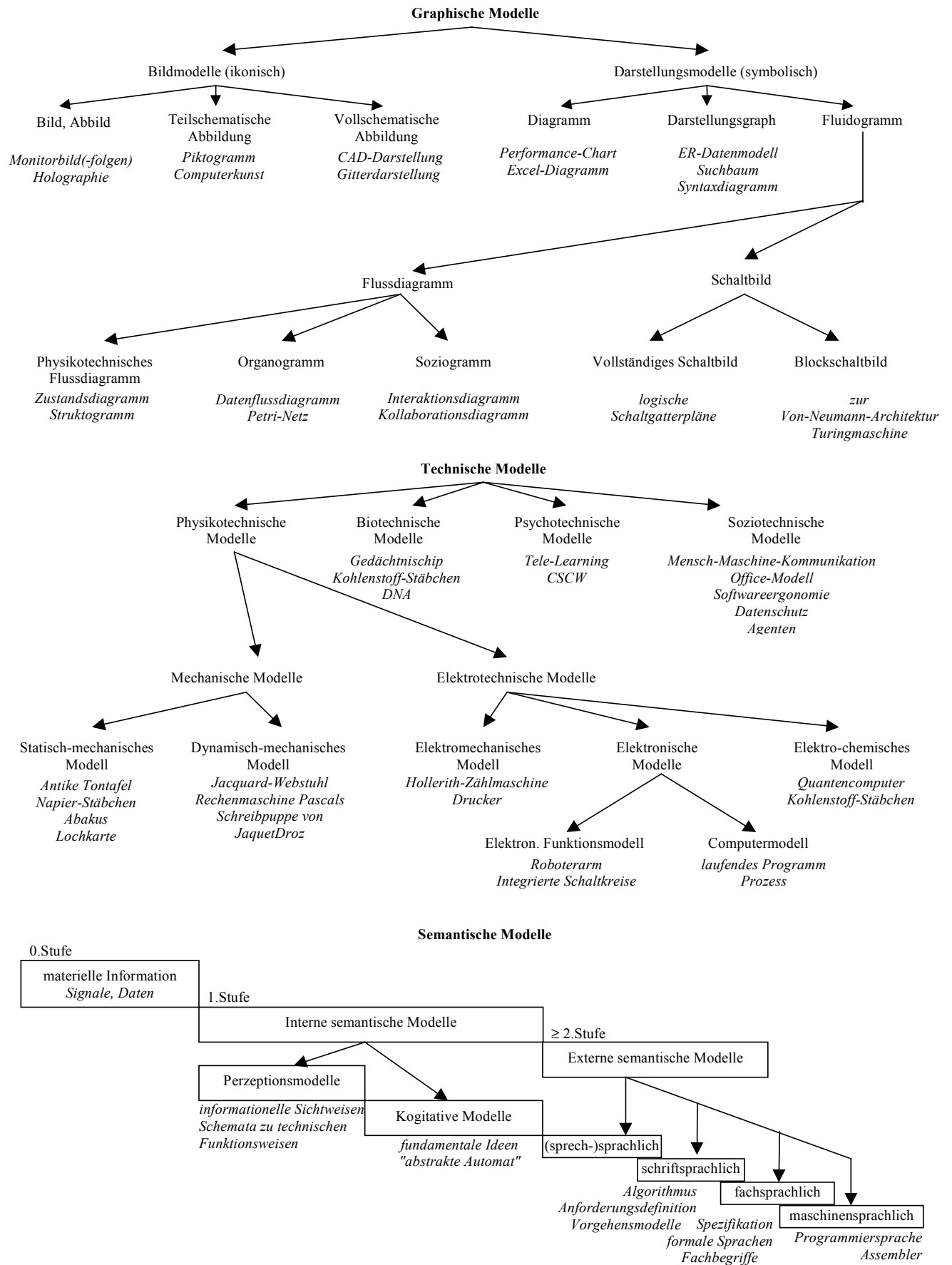


Abb. 11 Zuordnung von informatischen Modellen zur Systematik der AMT von Stachowiak

3.2 Technische Modelle in der Informatik

Je nachdem, ob die Modellattribute im Wesentlichen anorganischer, organisch-organisierender, psychischer oder sozialer Natur sind, unterscheidet Stachowiak technische Modelle in physiko-bio-, psycho- und soziotechnische Modelle.

Zu den physikotechnischen Modellen zählen in der Informatik derzeit vor allem elektronische Modelle, wie integrierte Schaltkreise basierend auf booleschen Operatoren als Gehirn eines Informatiksystems oder ein Roboterarm als elektronische Alternative zum menschlichen Arm. Mechanische und elektromechanische Modelle finden sich vorwiegend in der Entwicklungsgeschichte der Informatik, z.B. Lochkartengesteuerte Webstühle, die Rechenmaschinen von Schickard, Pascal und Leibniz sowie Holleriths Volkszählmaschine. Bezeichnenderweise sind mechanische Modelle in der Informatik überwiegend dynamisch. Als elektro-chemische Modelle kann man den Quantencomputer und Entwicklungen in der informationsverarbeitenden Nanotechnik ansehen. Unter einem Computermodell versteht Stachowiak ein "durch den Automaten realisiertes Programm" ([Sta73], S. 188), d.h. kommunikations- und informationsverarbeitende Prozesse in einem Computer. Computermodelle befinden sich im Grenzbereich zwischen technischen und semantischen Modellen.

Die Konstruktion von Informatiksystemen, die auf organisch-organisierenden Bausteinen beruhen, ist noch Zukunftsmusik, doch seitdem vor ca. 40 Jahren dem schwedischen Ingenieur Arne Larsson in Stockholm der erste völlig mobile Herzschrittmacher eingepflanzt wurde, wird versucht, elektronische Geräte mit dem biologischen Organismus zu koppeln. Am 24. März 1998 gelang Roy Bakay in Atlanta die erste Direktverbindung zwischen Menschengehirn und Elektronengehirn mit der eine Nervenschädigung eines Patienten teilweise aufgehoben werden konnte. Die Verschmelzung von lebenden und künstlichen informationsverarbeitenden Systemen kann dazu führen, dass nicht nur biologische Organismen künstliche Systeme kontrollieren, sondern auch künstliche Informatiksysteme biologische Systeme. Für massiv paralleles Rechnen wird bereits untersucht, inwieweit sich DNA-Stränge zur Informationsverarbeitung und -speicherung eignen. Diese biotechnischen Modelle der Informatik könnten – aufgrund ihrer ethischen Konsequenzen für die Gesellschaft – für eine Behandlung in der Schulinformatik ähnlich bedeutsam sein, wie die Gentechnologie im Biologieunterricht.

Informatiksysteme führen zu einem veränderten Lehr- und Lernverhalten in der Gesellschaft. Modelle in der Informatik, die dem Aufbau, der Prüfung und der Verbesserung von individuumorientierten Lehr- und Lerntheorien im Kontext von Informatiksystemen dienen, gehören zu den psychotechnischen Modellen (Computer unterstützter Unterricht, Telelearning-Konzepte, CSCW-Konzepte).

Von verschiedenen Autoren wird die Informatik als Gestaltungswissenschaft verstanden, die neben der mathematisch-technischen Dimension die gesellschaftlichen, ökonomischen und sozialen Aspekte berücksichtigt, in die Informatiksysteme eingebettet werden. So findet sich an den Universitäten mit Informatikstudiengängen zunehmend ein Teilgebiet "Informatik und Gesellschaft". Insbesondere die evolutionäre und objektorientierte Softwareentwicklung beinhalten nach Foegen ([Foe96]) eine Auseinandersetzung mit soziotechnischen Systemen und der Entwicklung entsprechender Modelle im Kontext einer Mensch-Maschine-Kommunikation.

3.3 Semantische Modelle in der Informatik

Für die kommunikative Welt des Menschen hat Stachowiak ein Metamodell semantischer Stufen aufgestellt, das auf im Wesentlichen drei interdependenten Ebenen die Verwendung von Modellen

zur Kommunikation aufzeigt. Modelle einer höheren Stufe stellen jeweils Kommunikationssysteme (Modelle) für Systeme der niedrigeren Stufe dar.

- Auf der nullten, uneigentlichen semantischen Stufe befinden sich alle Zeichenträger (materielle Information), potentiell bedeutungstragende Ausdrucksformen, aus denen sich alle möglichen Ausdrücke eines Kommunikationssystem konstruieren lassen: Laute, Gesten und andere Signale; in der Informatik sprechen wir meist von Daten.
- Zur ersten semantischen Stufe zählen interne semantische Modelle der Perzeption und der Kognition. Diese Modelle dienen der "Selbstkommunikation" des Subjekts und vermitteln zwischen der subjektbezogenen Realwelt und dem operativem Zentrum, dem Gegenwärtigkeitssystem sowie dem Informationsspeicher des Subjekts. Wahrnehmung und Denken finden sowohl unter Anwendung vorhandener interner Modelle statt als auch durch Modellierung neuer interner Modelle. Letzteres geschieht beispielsweise bei der Interpretation von Simulationsergebnissen. Ohne interne semantische Modelle und der Möglichkeit, auf diesen mental Operationen ausüben zu können, ist der Mensch nicht handlungsfähig. Auf die Bedeutung interner semantischer Modelle im Bereich der Software-Ergonomie hat Dutke ([Dut94]) hingewiesen und zum Aufbau interner, mentaler Modelle eine Exploration von Informatiksystemen angeregt. Die Arbeitsgemeinschaft Didaktik der Informatik an der Universität Paderborn verfolgt diesen Ansatz mittels einer Unterrichtsmethode der "Dekonstruktion von Informatiksystemen" ([Mag99]). Friedrich und Neupert ([Fri97]) legen in einer Fallstudie anhand einiger Fehlermeldungen eines Webbrowsers dar, wie utopisch die Vorstellung einer bewussten, effizienten Handhabung solcher Informatiksysteme ohne entsprechende Modellvorstellungen ist. Zu den Perzeptionsmodellen gehört die von Breier ([Bre94]) für die Schulausbildung geforderte informationelle Sichtweise der Welt. Die von Schwill ([Schwi94]) für die Informatik herausgearbeiteten fundamentalen Ideen können mit Stachowiak den kognitiven Modellen zugeordnet werden; ebenso der "abstrakte Automat" als zusammenfassendes Denkmodell für kybernetische Modelle ([Ste77]).
- Modelle der zweiten Stufe und eventuell folgender Stufen sind Systeme zur Kommunikation über Modelle der jeweils niedrigeren Stufe, sogenannte externe semantische Modelle: sprechsprachlich, schriftsprachlich, fachsprachlich, maschinensprachlich usw.

Aufgrund seiner Erfahrung mit Telefonbüchern kennt ein Mensch beispielsweise den Prozess der Interpolationssuche und hat ein internes Modell hierzu entwickelt. Diesen Prozess könnte er sprechsprachlich vermitteln oder mittels einer "natürlichen" Schriftsprache darlegen. Die Verwendung einer formalen Sprache führt zu einem externen semantischen Modell, das den Prozess der Suche derart präzisiert, dass beispielsweise vergleichende Effizienzbetrachtungen angestellt werden können. Auf einer "höheren" Stufe wird möglicherweise eine Programmiersprache oder eine Maschinensprache verwendet, um den Prozess der Interpolationssuche für einen Computer aufzubereiten. Die Interpolationssuche wird also in der Informatik durch verschiedene semantische Modelle repräsentiert, abhängig vom Zweck des Modells. Aufgabe des Subjekts ist es, das geeignete (externe) semantische Modell anzuwenden bzw. zu modellieren.

Vorgehensmodelle sind Verschriftlichungen vom Subjekt wahrgenommener und gedanklich entworfener Aktivitäten. Die bekanntesten Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung sind das Phasenmodell, das iterierte Phasenmodell, das Prototypenmodell, das evolutionäre Modell, das transformationelle Modell, das Spiralmodell und als aktuellstes, das objektorientierte Modell. Weitere Vorgehensmodelle finden sich beispielsweise beim Qualitätsmanagement (V-Modell). Diese vielfältigen Modelle der Informatik können alle mit graphischen Darstellungsmodellen, aber auch in schriftsprachlicher Form (externes semantisches Modell) beschrieben werden.

Interessanterweise kann das Metamodell semantischer Stufen auf die kommunikative Welt der informationsverarbeitenden Maschine übertragen werden, der Computer wird zum „Subjekt“. Dann könnte die Einteilung in Analogie zu Stachowiak wie folgt aussehen:

0. Stufe: enthält alle Zeichenträger ohne Bedeutung, also kontinuierliche und diskrete Signale, Daten und Nachrichten. Diese Stufe unterscheidet sich inhaltlich kaum von der obigen nullten Stufe.

1. Stufe: enthält Perzeptionsmodelle (Wahrnehmung $\approx$ Signalempfang) und Kognitive Modelle (Denken $\approx$ Signalverarbeitung). Informatiksysteme enthalten meist Gebilde zum Empfang von Signalen optischer, auditiver und elektrischer Natur. Die Signalverarbeitung findet vorwiegend auf elektronischem Wege statt. Insbesondere letzteres wird in der Technischen Informatik einem Kernbereich der Informatik behandelt. Die elektronischen Modelle werden unter anderem basierend auf Modellen der Mathematik (Dualzahlensystem), der Biologie (Nervensystem) und der Kognitionswissenschaften (Mustererkennung) mittels der Modelloperationen gewonnen. Wenn man davon ausgeht, dass der Mensch interne semantische Modelle letztendlich auch nur basierend auf elektrischen Signalen ausbildet, könnte man soweit gehen zu sagen, dass einem (zukünftigen) Computer diese Fähigkeit der Verarbeitung von internen Modellen ebenfalls zugestanden werden muss. Kognitionswissenschaften und Informatik arbeiten in diesem Bereich fächerverbindend und ergänzen sich gegenseitig.

2. Stufe: und alle folgenden Stufen enthalten externe semantische Informationseinheiten, die im eigentlichen Sinne bedeutungstragenden Zeichen in der expliziten Kommunikation zwischen Subjekten (hier: Computern). Hierzu zählen Kommunikationssysteme, die Meta-Modelle für Modelle der 1. Stufe darstellen (Wörter und Sätze, derzeit auf binärer Ebene). Der Mensch speichert und verarbeitet seine internen semantischen Modelle mittels elektrischer Signale. Leider kann er im Gegensatz zum Informatiksystem auf diesem Weg i.d.R. nicht mit anderen Subjekten kommunizieren. Zur zwischenmenschlichen Kommunikation werden daher auditive, visuelle und taktile Sprachen eingesetzt, auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen. Diese, dem Menschen geläufigen, Kommunikationssysteme werden mehr und mehr auch für die Mensch-Maschine-Kommunikation eingesetzt. Als reizvolle Frage stellt sich nun für den Informatikunterricht, ob Computer über ihre Selbst-Kommunikation kommunizieren, wenn sie Informationen aus ihren Berechnungen austauschen oder sich auf Protokolle verständigen?

Fazit

In der Abbildung 11 werden den von Stachowiak in der AMT dargestellten Modelltypen entsprechende Modelle der Informatik zugeordnet, um die Modellvielfalt in der Informatik ansatzweise aufzuzeigen.

Im Wesentlichen sind oder waren alle Modelltypen, die Stachowiak in seiner AMT darlegt, in der Informatik von Bedeutung. Eine systematische Auseinandersetzung mit Modellen der Informatik, die nahezu alle allgemeinen Modelltypen exemplarisch umfassen sollte, sowie dem Einsatz von Modellen und deren Konstruktion im Kontext der Automatisierung von informationsverarbeitenden Vorgängen könnten ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung einer allgemeinbildungsrelevanten Modellierungsfähigkeit sein; insbesondere da nicht erkennbar ist, dass diese Bildung von anderen Schulfächern systematisch, umfassend und konstruktiv-handlungsorientiert vermittelt werden kann.

Die Modelle, wie sie im Software-Engineering verwendet werden, decken eine breite Palette informatischer Modelle ab, stellen jedoch nur einen Ausschnitt informatischer Modellbildung dar. Im Informatikunterricht sollten jedoch Modelle aller Teilgebiete der Informatik behandelt werden; fachübergreifend, didaktisch reduziert und schülerorientiert.

3.4 Zum Zweck informatischer Modellbildung

Es wurde schon mehrfach betont, dass der Zweck eines Modells an ein Subjekt gebunden ist und aus unterschiedlichen Perspektiven gesehen werden kann. Betrachtet man die vier von Wüstneck (vgl. II 3. 3) herausgestellten Zwecke einer Modellbildung, so lassen sich diese in der Informatik alle aufzeigen.

Wüstneck schreibt zur *logischen Modellierung* ([Wue63], S. 1516): "Ohne auf die stoffliche Fixierung der Zeichen einzugehen, geht es um den logischen Inhalt." Logische Modelle als Erfüllungsmenge im Sinne der mathematischen Modelltheorie bilden eine Grundlage der logischen Programmierung. Eine Realisierung, die eine formale Spezifikation erfüllt, ist ein Modell im Sinne der mathematischen Modelltheorie, die theoretisch mittels einer Verifikation überprüft werden kann. Auch wenn zwischen Anforderungsdefinition, Entwurfsmodell und Computermmodell keine exakt faßbare mathematische Beziehung besteht, müssen entwicklungstechnisch jeweils nachfolgende Modelle die Vorgaben erfüllen, d.h. der „logische“ Gehalt muss erhalten bleiben. Als Prüfmethode wird hier das Testen angewandt.

Es ist ein wesentliches Ziel der Informatik mit Modellen die zeichenorientierte Verarbeitung von Information beim Menschen zu unterstützen (Keil-Slawik spricht von „Artefakten als externes Gedächtnis [Kei00]), aber auch die Informationsverarbeitung selbst auf die Maschine zu übertragen. Dabei ist Sprache, ihre Konstruktion und Verarbeitung eine der fundamentalen Masterideen der Informatik ([Schwi93]). Syntax, Semantik und Pragmatik werden in der Informatik untersucht, spezifiziert und bei der Modellierung und Implementierung von Problemen eingesetzt. Datenstrukturen und Algorithmen spielen eine zentrale Rolle. Sprachklassen werden ineinander umgewandelt und voneinander abgegrenzt. Der logische Gehalt soll dabei möglichst erhalten bleiben.

Informatiker simulieren, experimentieren, prüfen und analysieren am Modell, um zu neuen *Erkenntnissen* zu kommen. Im Unterschied zum Naturwissenschaftler gilt das Erkenntnisinteresse jedoch nicht den Gesetzen oder Phänomenen der Natur, sondern vor allem kulturellen Phänomenen ([Sche99], S. 123), dem intendierten Informatiksystem und den zugrundeliegenden Strukturen. Die Erfassung individueller Situationen und Szenarien bedingt die – im Gegensatz zu den Erkenntnissen der Naturwissenschaften – geringe Wiederverwendbarkeit von Software. Bei der Analyse der Fachsprache (vgl. III 2.) konnte gezeigt werden, dass Untersuchungsmodelle in der Informatik für Kosten-, Leistungs- und Lastbetrachtungen von Informatiksystemen eine wichtige Rolle spielen. Abstrakte Maschinenmodelle dienen insbesondere der theoretischen Untersuchung von Effizienz- und Komplexitätsproblemen.

Wedekind u.a. ([Wed98]) sind der Ansicht, dass die "besondere Leistung der Informatik gerade in der Abstraktion von den konkreten Gegenstandsbezügen der einzelnen Fachdisziplinen" besteht, dem Modellieren von Modellen. Den Hauptzweck einer Modellbildung in der Informatik sehen Wedekind et al. darin, "die aus den Fachwissenschaften stammenden Modelle so umzuschreiben, daß sie mit Hilfe eines Computers dargestellt und bearbeitet werden können". Sie unterscheiden präzisierend zwei Formen der Simulation: die Realsimulation und das Simulationsmodell. Überall dort, wo Realsimulationen nicht möglich sind oder ihre Durchführung zu aufwendig bzw. zu kostenintensiv ist, werden Simulationsmodelle eingesetzt. Simulationsmodelle sind nach Wedekind spezielle "deskriptive Modelle von Systemen technischer oder natürlicher Art, die an bestimmte materiale Vorgaben gebunden sind", d.h. es werden gewisse Charakteristika der Ausgangssysteme im Modell zweckorientiert erhalten und für das modellierte System Anfangs- und Randbedingungen festgelegt. Simulation ist ein Teilbereich von mit informatischen Methoden erzeugten Modellen. Aufgabe der Informatik bei der Erstellung von Simulationsmodellen sei zum einen die Ausgangsbeschreibungen informatisch modellierbar zu machen und zum anderen Beschreibungen und Modelle in eine zweckmäßige Darstellung zu bringen. Dabei sei es nicht die Hauptaufgabe eines Informatikers zu entscheiden, was inhaltlich mit der modellierenden Ausgangsbeschreibung einer Fachwissenschaft beschrieben, modelliert und dargestellt werden soll,

sondern ihn muss interessieren, wie methodisch Beschreibungen, Modelle und Visualisierungen in einer bestimmten Fachwissenschaft durchgeführt werden, um diese Vorgänge in einem (computerisierbaren) Modell der Informatik abbilden zu können.

Ein weiteres Ziel der Informatik ist die *Ersetzung der Originale* durch – für die menschliche Wahrnehmung – geringfügig abstrahierte Modelle, die auf einem "Computer" ausführbar sind. Dabei modelliert die Informatik "meist Sachverhalte, die einer vom Menschen geschaffenen Welt entstammen" ([Schwi93]). Die geringe Abstraktion bzgl. der Wahrnehmung führt zu einer scheinbaren Realität. Die Originale sind "der Möglichkeit nach vorhanden", aber sie sind es nicht wirklich; eine virtuelle Realität. Mag man bei Software noch einwenden, dass die Modelle auf Zeichen und Texten beruhen, deren Originale häufig immateriell sind, so wird die Ersatzfunktion auf materiell-realer Ebene insbesondere bei der Hardware-Peripherie von Informatiksystemen deutlich. Menschliche und andere Wahrnehmungs- und Bewegungsorgane werden in Zusammenarbeit mit Maschinenbau, Elektrotechnik und anderen Ingenieurwissenschaften für informationsverarbeitende Informatiksysteme entwickelt.

Modelle, die dem Zweck der *Produktion* dienen und sich auf die (Um-)Gestaltung eines Originals auswirken, lassen sich in der Informatik in den unterschiedlichsten Formen finden. Zu nennen sind insbesondere die im Abschnitt III 2.3 herausgearbeiteten Entwurfsmodelle (UML-Modelle, Modellbildungssprachen, Programmiersprachen usw.) und Architekturmodelle. Auf die Bedeutung mentaler Modelle für den Softwareentwicklungsprozess sind wir schon im Abschnitt III 1. eingegangen. Einige Autoren verstehen daher die Informatik auch als Gestaltungswissenschaft ([Foe96]).

Zusammenfassung

Der Mensch hat stets versucht, durch Werkzeuge und Maschinen, mit denen Energie, Materie und Information verarbeitet werden kann, biologische Nachteile zu kompensieren und menschliche Arbeit zu rationalisieren. Die Informatik ist die Wissenschaft, die sich mit der Automatisierung von informationsverarbeitenden Prozessen beschäftigt. In Definitionen zur Informatik lassen sich jedoch recht unterschiedliche Schwerpunktsetzungen feststellen, die eine Einordnung der Informatik in den Wissenschaftskanon sowie in die Aufgabenfelder einer Schulbildung erschweren.

Dem Modellieren von Modellen kommt in der Fachwissenschaft Informatik eine zentrale Bedeutung zu. Dieses Ergebnis unserer Untersuchungen zum Modellbegriff der Informatik, die unter anderem einen Beitrag zur Präzisierung des Charakters der Informatik darstellen, lässt sich mit der Bedeutung von Modellen für den Menschen bei einer Informationsverarbeitung begründen.

Philosophische und psychologische Arbeiten und Untersuchungen deuten daraufhin, dass die Verwendung von Modellen als gedankliche Konstrukte in der Informatik grundlegend für das Verständnis, für einen reflektierten Einsatz und für die Konstruktion von Informatiksystemen ist. Diese informatischen Sichtweisen und Perspektiven können nicht vermittelt werden, sondern werden durch Erfahren angeeignet.

Die Bedeutung von mentalen Modellen wie Metaphern und konzeptuellen Modellen bei Planung, Gestaltung und Einsatz von Informatiksystemen wird zunehmend erkannt und untersucht, um den Erfolg informatischer Methoden und Produkte zu verbessern. Die gezielte Auseinandersetzung mit Metaphern und konzeptuellen Modellen und deren Exploration an Informatiksystemen dürfte den Aufbau mentaler Modelle beim Schüler fördern, so dass die Diskussion unterschiedlicher Sichtweisen bei der Modellierung informatischer Modelle diskutiert werden kann und die zielgerechte Nutzung von Informatiksystemen gefördert wird.

Zur kritischen Reflektion informatischer Modelle bieten sich z.B. die in der Softwareentwicklung auftretenden Zielkonflikte an, deren Betrachtung zu der Erkenntnis führt, dass es weder die (informatische) Modellbildung noch die perfekte Problemlösung gibt. Diese Erkenntnis dürfte auf andere Problemstellungen übertragbar sein und für Schüler eine wichtige Erfahrung darstellen.

Die Fachsprache in untersuchten Vorlesungsskripten der Informatik nutzt das Wort Modell häufig und in vielfältiger Weise, wobei die Tätigkeit des Modellierens stets betont wird. Im Vordergrund stehen semantische und graphische Modelle zur Kommunikation über technische Systeme und deren Entwicklung. Die meisten Modellbegriffe zu den drei Teilbereichen der Kerninformatik finden sich bereits in Teilgebieten der Praktischen Informatik. Es lassen sich fünf Hauptmodelltypen als Metamodelle aufstellen: Architektur-, Entwurfs-, Untersuchungs-, Vorgehens- und mentale Modelle. Diese Metamodelle und entsprechende Untermodelle gilt es im Informatikunterricht zu berücksichtigen, wenn ein angemessenes Bild der Informatik, insbesondere ihrer Fachsprache, vermittelt werden soll. Daher wurde das analysierte Begriffsverständnis zu den einzelnen informatischen Modellen jeweils kurz skizziert.

Im Sinne eines weiten Modellbegriffs, wie ihn Stachowiak in der Allgemeinen Modelltheorie verwendet, kann aufgezeigt werden, dass die Informatik mit nahezu allen Modelltypen arbeitet, gearbeitet hat oder vermutlich arbeiten wird, die im Allgemeinen und im Kulturell-tradierten verwendet werden. Auch die vier allgemeinen Zwecke von Modellierung nach Wüstneck sind in der Informatik aufweisbar. Auffällig ist, dass in der Informatik „Ketten“ von aufeinander aufbauenden Modelltypen bewusst verwendet werden. Darstellungsmodellen der Softwareentwicklung scheint dabei ein besonderer, aber nicht absoluter Stellenwert zuzukommen.

Eine Ursache für die Vielfalt an Modellen in der Informatik ist offensichtlich darin zu sehen, dass sich diese Wissenschaft mit der Automatisierung der Informationsverarbeitung beschäftigt; Information ist aber auf einen Informationsträger angewiesen, wobei dessen Natur relativ unerheblich ist.

Das Modellieren von informatischen Modellen in einem Informatikunterricht bietet der Schule gute Anknüpfungspunkte, um menschliche Informationsverarbeitung fachübergreifend zu thematisieren und ansatzweise fächerverbindende Wissenschaftstheorie zu betreiben. Zudem könnte die Ausbildung einer allgemeinbildungsrelevanten Modellierungskompetenz erfolgen, die in dieser Form nicht erkennbar von anderen Schulfächern geleistet werden kann.

IV Konsequenzen für einen Informatikunterricht

*Wer keine Probleme hat,
braucht nicht nach Lösungen zu suchen.*

unbekannt

*Persönlich bin ich immer bereit zu lernen,
obwohl ich nicht immer belehrt werden möchte.*

Winston Churchill, brit. Staatsmann

Aus pädagogischer Perspektive kann Kultur als Mittel zur Entwicklung des jungen Menschen zum mündigen Erwachsenen gesehen werden. Allerdings prägt die Kultur den Menschen nur, wenn der Mensch kulturell produktiv wird. In diesem Sinne spricht W. Loch ([Loc69]) von einer Enkulturation³² des jungen Menschen.

Das Modellieren von Modellen ist eine Kulturtechnik, die der Mensch seit Jahrtausenden verwendet und ihn handlungsfähig macht. In der Wissenschaft Informatik hat das Modellieren von Modellen einen zentralen Stellenwert und Modelle werden in umfassender Vielfalt an Modelltypen eingesetzt, um geistige Tätigkeiten des Menschen zu unterstützen und zu ersetzen. Diese Vielfalt wird in den einzelnen Lehrplänen und fachdidaktischen Ansätzen zum Informatikunterricht bisher unzureichend berücksichtigt. Dabei könnten informatische Modelle und insbesondere der für die Informatik typische, konstruktive Umgang mit Modellen zu einer Enkulturation von Modellen im Allgemeinen beitragen.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden wir anhand der bereits vorgestellten Merkmale einer Allgemeinbildung (vgl. I 2.) für informatische Modelle zeigen, dass diese ein wichtiges Bildungsgut mit Bildungswert für eine Schulausbildung darstellen. Anschließend werden einige Hypothesen zur Integration von informatischen Modellen in einen Informatikunterricht diskutiert, der innerhalb beider Sekundarstufen anzusiedeln ist. Diese Ideen bedürfen einer präziseren Ausarbeitung in nachfolgenden Arbeiten und müssen sich zu einem späterem Zeitpunkt einer Evaluation unterziehen. Den Abschluss bilden Überlegungen zur methodischen Gestaltung eines entsprechenden Informatikunterrichts auf der Basis der gewonnenen didaktischen Erkenntnisse³³.

1. Informatische Modelle als Bildungsgut

Kultur ist die Gesamtheit der geistigen und künstlerischen Lebensäußerungen einer Gemeinschaft. Sie enthält Gebilde, mit denen ein Mensch sein Leben realisiert: natürliche und künstliche Sprachen, moralische Verhaltensmuster, Arbeitsformen mit ihren Werkzeugen und Methoden, Technik, Wissenschaft, Kunst u.v.m (vgl. a. S. 4). Es gibt kein Menschsein außerhalb der Kultur, da der Mensch in seiner Unvollkommenheit die Kultur als Schutzschild gegen die Komplexität des Lebens benötigt. Die Informatik arbeitet mit zahlreichen Modelltypen, die der Mensch in seiner Evolutionsgeschichte konstruiert hat.

³² Enkulturation erfasst auch die Sozialisation des Menschen, d.h. den Erwerb von sozialen Beziehungen.

³³ Diese Arbeit ist als didaktische Arbeit im engeren Sinne zu verstehen, d.h. die methodische Umsetzung und deren Evaluation muss in nachfolgenden Arbeiten geleistet werden.

Sprache, ihre Struktur, ihre Konstruktion und ihre automatisierte Verarbeitung, gehört zu den wichtigsten Gegenständen der Informatik. Sie bildet die Grundlage bei der Produktion und Nutzung von Informationstechnik (Software und Hardware). Nicht von ungefähr sind Modelle in der Fachsprache der Informatik vorwiegend semantischen und graphischen Typs (vgl. III 2.3).

Untersuchungen zur Automatisierbarkeit geistiger Tätigkeiten des Menschen verwenden und berücksichtigen unterschiedlichste semantische Modelltypen mit dem Ziel technische Modelle zu erzeugen. Diese wiederum unterstützen und übernehmen kulturell-tradierte, geistige Tätigkeiten des Menschen; teilweise auch das Modellieren von Modellen (nach meist festgelegten Regeln). Informatische Modelle sind nicht nur Teil unserer Kultur, sondern mit ihnen wird Kultur erschlossen und produziert.

Kulturgüter werden nach Klafki zu Bildungsgütern, wenn sie stellvertretend das Besondere für viele Kulturgüter darstellen. Dass das Modellieren von Modellen in der Informatik (unter Einbeziehung der Informationstechnik) in umfassender Weise für das menschliche Modellieren stellvertretend stehen kann, haben wir bereits in Abschnitt III 2. aufgezeigt. Folglich kann die informatische Modellbildung im Ganzen als ein Bildungsgut im Sinne Klafkis bezeichnet werden. Für eine detailliertere Begründung können die sieben Erscheinungsformen von elementaren Bildungsgut (vgl. S. 4) hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf informatische Modelle überprüft werden. Da diese Erscheinungsformen unterschiedliche Bildungsbereiche repräsentieren, müssen sie nicht vollständig von informatischen Modellen erfassbar sein.

Informatische Modelle lassen den Schüler das *Fundamentale* des Modellierens von Modellen für die Menschen erfahren. Die Vielfalt der Modelle in dem einen Kontext der Informationsverarbeitung erleichtert den Vergleich und die Herausarbeitung unterschiedlicher Modelltypen und ihres Stellenwertes in bestimmten Modellbildungsprozessen. Das Erfahren des (informatischen) Modellierens, das Bewusstmachen der Bedeutung von Modellbildung für den Menschen und der dabei verwendeten Modelloperationen dürfte für eine gezielte Auswahl von Modelltypen und deren Modellierung in anderen Bereichen recht nützlich sein³⁴.

Wie der fallende Stein exemplarisch für das Fallgesetz stehen kann, so können (einzelne) informatische Modelle das *Exemplarische* für allgemeine Modelltypen darstellen. Simulationsmodelle und analytische Modelle in einem bestimmten Kontext (z.B. der Auslastung von Systemkomponenten) gegenüberzustellen, führt beispielsweise zu den jeweiligen typischen allgemeinen Eigenschaften dieser Modelltypen (s. S. 55).

Die fünf Hauptmodelltypen „Architekturmodelle“, „Vorgehensmodelle“, „Entwurfsmodelle“, „Untersuchungsmodelle“ und „Mentale Modelle“ stellen *Typisches* für informatisches Modellieren dar, da mit ihnen jeweils eine Sichtweise auf, oder Intention zu, untergeordneten Modellen zusammengefasst wird. Es ist typisch für die Informatik, in Architekturmodellen konventionalisierte Erkenntnisse zu fixieren und sich auf diese zu beziehen. Alle Vorgehensmodelle sollen das planvolle, zielgerichtete Handeln bei z.B. der Softwareentwicklung stützen. Es ist typisch für die Informatik das Ergebnis einer Problemanalyse abstrahierend in einem Modell zu beschreiben und Lösungen zunächst in Entwurfsmodellen festzuhalten, die anschließend zu einer Implementierung führen.

Die semantischen Stufen von Stachowiak finden sich in der menschlichen Informationsverarbeitung ebenso wie bei der computergestützten Informationsverarbeitung. Eine Auseinandersetzung mit semantischen Modellen innerhalb der Informatik kann *repräsentativ* die Modellketten in der menschlichen Informationsverarbeitung vergegenwärtigen. Zum anderen führt ein Vergleich mit semantischen Modellen im Computer zu einer Entmystifizierung einer Künstlichen Intelligenz (vgl. S. 63).

³⁴ Im Folgenden werden wir desöfteren die Konjunktivform verwenden müssen, da empirische Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Die Erkenntnisse der Arbeit erfordern mittel- und langfristig angelegte Erhebungen in den unterschiedlichsten Bereichen, um die getroffenen Hypothesen zu bestätigen oder zu falsifizieren.

Die Dokumentationsweisen innerhalb der Vorgehensmodelle, die verschiedenen graphischen Notationsformen, der Einsatz von technischen Modellen zur Informationsverarbeitung u.a. können wie Schreib- und Lesetechniken mit Klafki zu den *einfachen Zweckformen* gezählt werden, in denen bildungswirksame Erfahrungen gemacht werden können.

Die *einfachen ästhetischen Formen* könnten im Rahmen der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen von bildender Bedeutung sein, wo Erkenntnisse aus dem künstlerisch-musischen Bereichen angewendet werden.

Wir brechen an dieser Stelle die Argumentation zu informatischen Modellen als Bildungsgut ab, um den Bildungswert von informatischen Modellen mittels der „Didaktischen Analyse“ genauer untersuchen zu können³⁵.

Die didaktische Analyse von Wolfgang Klafki ([Kla74], S. 134) ist ein Verfahren zur Bestimmung des konkreten Bildungswertes von Bildungsgütern³⁶. Sie gliedert sich in einen eher für den Lehrplangestalter formulierten „allgemeineren“ Teil und einen Teil für den unterrichtenden Lehrer. In der didaktischen Analyse sind stets die Rahmenbedingungen von Schule und die aktuelle Situation des Schülers zu berücksichtigen. Wir konzentrieren uns im Folgenden auf die im Wesentlichen fünf Gesichtspunkte des zweiten Teils, da sich der allgemeinere Teil in diesem widerspiegelt, aber konkreter auf die Unterrichtspraxis bezogen wird.

1. Exemplarische Bedeutung der Bildungsinhalte. Die informatischen Modelle im Gesamten stehen stellvertretend für Modelle im Allgemeinen. An einzelnen informatischen Modellen lassen sich grundlegende Fragen, die mit dem allgemeinen Modellieren von Modellen verknüpft sind exemplarisch und konstruktiv erfahren (Modelltypen, Modelloperationen, Modellkritik, s.a. II 3.1).

Vorgehensmodelle können beispielsweise analysiert, ausgeführt, verändert und entwickelt werden. Ausgehend vom Wasserfallmodell können Schüler die Nachteile einer strikten linearen Abarbeitung erfahren und Rückkopplungsprozesse vorschlagen, so dass die Entwicklung über das iterierte Phasenmodell zum objektorientierten Modell nachvollzogen wird. Am Beispiel der Vorgehensmodelle in der Informatik lernen die Schüler menschliche Tätigkeitsvorgänge in einem schriftsprachlichen Modell zu fixieren, geeignete Dokumentationsformen zu vereinbaren, einzuhalten und mit den Modellen verbundene Fragestellungen, wie adressatengerechtes Sprachniveau, verständliche Darstellung des Vorgehens und den Einfluss mentaler Modelle zu reflektieren.

2. Gegenwartsbedeutung für die Schüler. Dieser Aspekt ist an dieser Stelle nur sehr schwierig zu beantworten, da er die aktuelle Umwelt des Schülers berücksichtigen muss. Es ist aber davon auszugehen, dass eine Reihe von Modelltypen bereits in anderen Schulfächern verwendet wurden, an die gegebenenfalls angeknüpft werden kann.

Vorgehensmodelle sind den Schülern meist schon aus den naturwissenschaftlichen Experimentalfächern oder als Textanalysemethoden in den sprachlichen Fächern bekannt. Im Alltag kennen die Schüler Bedienungsanleitungen für beispielsweise technische Geräte. Informatische Vorgehensmodelle können an diesen Modellen anknüpfen. Stärker als in anderen Fächern kann jedoch die beschriebene Tätigkeit reflektiert und im Hinblick auf das Ziel, hier ein informatisches Produkt, optimiert werden. Diese Tätigkeiten könnten die Fähigkeit von Schülern fördern, Vorgehensmodellen in anderen Bereichen zielgerechter zu erstellen und anzupassen. Insbesondere die Einsicht in die Notwendigkeit von Dokumentationen, die stets als Kommunikationsgrundlage für ein bestimmtes Klientel zu sehen sind (Auftraggeber, Projektgruppenmitglied usw.), dürften eine wichtige Ergänzung zur „Thematisierung von Vorgehensmodellen“ in anderen Schulfächern sein.

³⁵ Eine Fortführung der Diskussion muss späteren Arbeiten verbleiben.

³⁶ Wir verwenden an dieser Stelle die „ältere“ didaktische Analyse anstatt des „jüngeren“ Perspektivenschemas von Klafki, da sich erstere stärker auf die Didaktik im engeren Sinne bezieht.

3. Zukunftsbedeutung für die Schüler. Der Lehrer oder Lehrplangestalter muss reflektieren, welche Rolle der Inhalt für den Schüler in der Zukunft spielt, in die er Hineinwachsen wird. Dabei soll der Inhalt keine Spezialbildung vorwegnehmen, sondern eine allgemeinbildende Relevanz haben, was für eine allgemeine Modellierungskompetenz sicherlich zutrifft.

Nicht nur in den Ingenieurwissenschaften sind Vorgehensmodelle von Bedeutung. Hat der Schüler gelernt, diesen Modelltyp zu verstehen, zu reflektieren und gegebenenfalls anzupassen, sollte ihm dies auch bei der Bewältigung von Alltagsproblemen hilfreich sein. Der entscheidende Vorteil informatischer Vorgehensmodelle ist, dass der Schüler sie in Absprache mit seiner Arbeitsgruppe variieren kann und sollte. Vorgehensmodelle können also konstruiert werden. Dabei sind informatische Modelle i.d.R. genügend komplex, so dass ausreichend „Reibungsflächen“ entstehen. Der allgemeine Sinn von vereinbarten Vorgehensmodellen, das Strukturieren einer Tätigkeit und das adressatengerechte Dokumentieren von Ergebnissen, dürfte den Schüler i.d.R. bereits bewusst sein oder wird den Schülern bewusst gemacht.

4. Pädagogisch-didaktische Struktur. Hier stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang des Inhalts mit anderen Inhalten, mit denen sich der Schüler bereits auseinandergesetzt hat oder auseinander setzen wird (s.o.). Informatische Modelle sind zumeist Element einer semantischen oder historischen Modellkette und ein zentrales Element in der Informatik, so dass sich stets eine inhaltliche Einbettung ergeben sollte.

Informatische Vorgehensmodelle bestehen aus verschiedenen Phasen, die andere Modelle, wie Entwurfsmodelle oder Untersuchungsmodelle, enthalten. Die Art und Weise der Anordnung beziehungsweise des Durchlaufens der einzelnen Phasen unterscheidet die Vorgehensmodelle voneinander. Die einzelnen Phasen bauen aufeinander auf, d.h. selbst wenn „Rückschritte“ möglich sind, bilden die ersteren Phasen Modelle als Vorbilder für nachfolgende Phasen. Die Dokumentation der einzelnen Phasen erfolgt i.d.R. mit semantischen Modellen (auch graphischen Modellen). In einer Implementierungsphase werden (software-)technische Modelle erzeugt.

5. Günstige Lehr- und Lernbedingungen. Diese fünfte Frage von Klafki bezieht sich bereits auf methodische Aspekte, wie die Frage „Wie mache ich den Gegenstand für den Schüler interessant?“ und wird im Abschnitt IV 3. berücksichtigt.

In ähnlicher Weise lassen sich andere informatische Modelle mittels der didaktischen Analyse für den Unterricht legitimieren und innerhalb eines möglichst spiralcurricularen Lehrplans verankern. Für den konkreten Unterricht ist die didaktische Analyse noch detaillierter durchzuführen.

Betrachten wir ergänzend die Kriterien von Bussmann und Heymann (vgl. S. 5). Ein handlungsorientierter Umgang mit informatischen Modellen dürfte sicherlich zur Vorbereitung auf zukünftige Lebenssituationen dienen, da der Mensch in seinem ganzen Leben mit unterschiedlichsten Modellen versuchen wird, seine Wirklichkeit zu erschließen und zu bewältigen. Kann diese Kompetenz auch außerhalb einer informatischen Bildung erworben werden. Ja und Nein! Einige Modelltypen wird der Schüler auch in anderen Fächern oder im alltäglichen Leben kennen lernen. Schließlich ist das Modellieren nichts Neues. Jedoch bietet die informatische Modellbildung dem Schüler eine konstruktive und explorierende Auseinandersetzung mit Modellen, so dass er eine Modellierungskompetenz erwirbt, die ihm die Auswahl und Evaluation von Modellen und Modelltypen erleichtert. Mittels informatischer Modelle kann er das bewusste Modellieren von Modellen studieren und einüben, während er im alltäglichen Leben auf die „heiße Herdplatte“ fassen würde. Sicherlich leisten auch andere Schulfächer einen Beitrag zur Modellierungskompetenz, jedoch bieten diese dem Schüler nur vereinzelt die Möglichkeit, eine direkte Rückkopplung seines Tuns zu erfahren und direkt aus gemachten Fehler zu lernen und diese zu korrigieren (z.B. Leistungsfähigkeit und Grenzerfahrungen im Zusammenhang mit Atommodellen der Chemie).

Informatische Modelle, technische wie semantische, unterstützen in besonderer Weise die Übernahme von Kulturgütern, wozu auch Modelltypen selbst zählen, da es zumeist Modelle zur

Verarbeitung von Information sind. Es wird also eine Grundlage gelegt, um sich neues Wissen unter Einsatz von Modellen aus komplexen Szenarien zu erschließen.

Die Konfrontation mit unterschiedlichen Sichtweisen auf informatische, technische Modelle (s. S. 44) dürfte zu einer kompetenteren Einstellung gegenüber Informatiksystemen führen. Die Berücksichtigung von unterschiedlichen mentalen Modellen im Softwareentwicklungsprozess erfordert ein „Hineinversetzen“ in eine fremde Rolle, die in Form von Plan- oder Rollenspielen ausgeführt werden kann. Der Aufbau und die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen „Weltbildern“ stärkt die soziale Kompetenz des Individuums in der Gemeinschaft. Der Vorteil mentaler Modelle im Kontext der Informatik liegt darin, dass sie in einen produktorientierten Prozess, der Entwicklung eines Informatiksystems, integriert sind. Dies ist im Unterricht motivierend und fördert gleichzeitig eine starke teamorientierte Projektfähigkeit.

Das Austesten, Evaluieren und Einbetten von Informatiksystemen und den vorhergehenden unterschiedlichen informatischen Modellen führt zu extrinsisch oder intrinsisch motivierter Modellkritik und fördert die kritische Hinterfragung von Informationen, Wertungen und Interpretationen im Zusammenhang mit (informatischen) Modellen. Das informatik-typische Modellieren von Modellketten führt dabei rasch zu einer Eignungsprüfung vorhergehender Modelle. Die Zielkonflikte nach Goorhuis (S. 41) bilden einen denkbar guten Ansatzpunkt für ein reflektiertes Modellieren von (informatischen) Modellen.

Nicht-zuletzt bietet das Modellieren von informatischen Modellen dem Schüler die Möglichkeit kreative Lösungen zu Problemen zu entwickeln, diese zu realisieren und zu überprüfen. Erfolg und Misserfolg fördern die individuelle Entwicklung und stärken, wenn Fehler akzeptiert werden, das Schüler-Ich. Hier kommt dem Informatikunterricht zugute, dass die Evaluation von Modellen keine Gefahren birgt, wie diese beispielsweise in den Naturwissenschaften auftreten können, wenn dort Modelle überprüft werden sollen. Bei der informatischen Modellierung wird der Schüler meist durch sein Wissen und Können eingeschränkt, nicht durch externe Umstände. Dies soll nicht bedeuten, dass die naturwissenschaftlichen Modelle keine Berechtigung haben.

Es zeigt sich, dass die informatischen Modelle ein Bildungsgut mit Bildungswert darstellen, dass die Allgemeinbildungs-Kriterien von Klafki und Bussmann/Heymann einschließt. Weitere Untersuchungen unter Einbeziehung anderer Merkmale zur Allgemeinbildung sind erforderlich, insbesondere im Vergleich zu anderen Schulfächern und Fachwissenschaften.

2. Themen für die Unterrichtspraxis

Unsere Untersuchungen bestätigen, dass die Informatische Modellbildung ein durchgängiges Prinzip in der Informatik darstellt. Als eine der Säulen (Leitlinien) für einen Informatikunterricht sollte sie sich über alle Jahrgangsstufen erstrecken. Jedoch hat die Säule der Informatischen Modellbildung einen größeren Umfang als bisher angenommen. Würden wir im Informatikunterricht den Schwerpunkt nur auf Modelle legen, die aktuell in der Softwaretechnik verwendet werden, so bestünde einerseits die Gefahr, dass diese nicht langfristig genug gültig sind und andererseits würden wir die Chance vergeben, Modelle und Modelltypen in einen evolutionären Entwicklungsprozess einzubetten.

Akzeptiert man die Ergebnisse unserer Untersuchungen, so sollten im Informatikunterricht möglichst alle herausgestellten informatischen Modelltypen berücksichtigt werden. Dies gilt vor allem für die Hauptmodelltypen der Fachsprache der Informatik und für informatische Modelle, die exemplarisch Modelltypen nach Stachowiak zugeordnet werden können. Zu untergeordneten Modellen sind weitere Untersuchungen notwendig, um die für einen Informatikunterricht geeigneten herauszufinden und die gefunden zu bestätigen. Hierzu bieten sich die Didaktische Analyse, ihr Nachfolgemodell das „Perspektivenschema“ von Klafki, Methoden der Berliner Schule u.a. an. Auch die vier Zwecke einer Modellbildung nach Wüstneck sollten behandelt werden. An geeigneten Themen sollte das Modellieren von Modellen durchgeführt und Unterschiede zwischen den Modelltypen bewusst gemacht werden. Im Folgenden werden wir

einige Ideen skizzieren, die sich aus den Erkenntnissen zu den informatischen Modellen für einen konkreten Informatikunterricht folgern lassen.

Ein weites Feld für eine Auseinandersetzung mit mentalen Modellen wie Metaphern und konzeptuellen Modellen stellt die Entwicklung von Benutzerschnittstellen dar. Dabei geht es nicht um die unreflektierte Übernahme von Design-Vorlagen einer Entwicklungsumgebung oder darum, stets einen „Einheitslook“ zu erzeugen, sondern eine für das ausgewählte Klientel passende Umgebung zu kreieren, unter Verwendung geeigneter Metaphern oder konzeptuellen Modellen, was im jeweiligen Fall abgewägt werden muss. Diese Sichtweise muss im Unterricht unter anderem in entsprechenden Dokumentationen zu einzelnen Arbeitsphasen im Unterricht berücksichtigt werden.

Im Rahmen der Erstellung von computererzeugten Bildmodellen könnte eine Betrachtung der mentalen Vorgänge bei der Wahrnehmung und Verarbeitung von Bildinformation von Interesse sein. Wie lassen sich 3D-Objekte auf einer zweidimensionalen Ebene darstellen? Wie erzeuge ich realistisch wirkende Animationen? Wie sind Piktogramme geschickt aufzubauen usw. (s. z.B. [Stau87]). Referenzmodelle zur Gestaltung von Oberflächen, aber auch Farbmodelle, bilden die Grundlagen. Die Erstellung von 3D-Visualisierung und virtuellen Welten in Rechnern erfordert nicht nur die Erforschung und Berücksichtigung sozio-technischer Zusammenhänge, sondern fördert auch das abstrakte räumliche Vorstellungsvermögen³⁷. VRML³⁸ ist ein Beispiel, um räumliches Vorstellungsvermögen zu erzeugen. Hier werden stereometrische, naturalistisch wirkende Modelle entwickelt und mit der eigenen Wahrnehmung überprüft.

Ein – wie es uns erscheint – wichtiges Teilgebiet der Informatik wird in der Schule nur unzureichend behandelt, obwohl Unterrichtsvorschläge existieren und ein hoher Bildungswert offensichtlich ist: die Fragestellungen der Künstlichen Intelligenz. Die in diesem Teilgebiet fachübergreifende Auseinandersetzung mit mentalen Modellen und den Versuchen, diese auf Maschinen zu übertragen oder deren Wirkung mit Maschinen nachzustellen, bietet für die Schule ein weites Feld von Inhalten zu den Fragen des Menschseins. Hier könnten Schüler lernen, was Maschinen derzeit und in Zukunft modellhaft leisten können und was nicht, so dass die Ausbildung einer individuellen, sachgestützten Haltung zu Informatiksystemen ermöglicht wird. Fragestellungen zur künstlichen Intelligenz im Sinne der Ersatzfunktion von Informatiksystemen würden wir, aufgrund der notwendigen philosophischen Betrachtungen, eher in der Oberstufe ansiedeln. Teilbereiche der künstlichen Intelligenz, die sich mit technischen Ersatzmodellen beschäftigen, wie die Robotik und andere mechanische informatische Modelle, können in der Sekundarstufe I thematisiert werden.

Das Arbeiten mit informatischen Modellen erfolgt i.d.R. im Zusammenhang mit der Erstellung von Software. Die Behandlung unterschiedlicher Rechenmodelle (Programmierparadigmen) sollte im Informatikunterricht selbstverständlich sein, da hierbei unterschiedliche Problemlösetechniken (interne semantische kognitive Modelle) im Individuum ausgebildet werden, die in zahlreichen anderen Disziplinen angewendet werden können (vgl. fundamentale Ideen der Informatik in [Schwi94]).

Von einem 6st-Klässler wird man kaum erwarten können, dass er das objektorientierte Vorgehensmodell in seinen Einzelheiten durchführen kann. Wozu auch? Zwar ist eine Einführung in die objektorientierte Strukturierung im Anfangsunterricht möglich (vgl. ([Hub00], S. 114) und möglicherweise auch kognitionspsychologisch begründbar ([Schwi95], S. 183ff), aber es stellt sich die Frage, inwieweit eine abstrahierende objektorientierte Strukturierung dem Schüler hilfreich ist oder nur als „aufgesetzt“ erscheint. Hier bleibt abzuwarten, zu welchen Ergebnissen die

³⁷ Ein derartiges räumliches Vorstellungsvermögen wird beispielsweise von angehenden Medizinerinnen im TMS, dem Eingangstest für die Medizin-Studiengänge gefordert.

³⁸ VRML ist eine Beschreibungssprache für dreidimensionale Objekte im Web.

begleitenden Untersuchungen im Rahmen der Einführung des neuen Lehrplans in Bayern führen. Als Vorgehensmodell empfiehlt sich gerade aufgrund seiner linearen, überschaubaren Vorgehensweise zunächst das Phasenmodell. Dabei erscheint es uns als wertvoll, ein Vorgehensmodell wie das Phasenmodell im Vergleich zu anderen Vorgehensmodellen zu betrachten und im Unterricht entsprechend zu verbessern.

Standard-Themen aus dem Informatikunterricht zur Entwicklung von Datenbanken, Programmen, kleinen Algorithmen u.ä., die informatische Modelle nutzen (UML u.a.), sollen an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden, da sie zu genüge in anderer Literatur³⁹ dargestellt sind. Wichtig erscheint mir vor allem, dass bei dem Einsatz von informatischen Modellen betont wird, um welchen Modelltyp es sich handelt und mögliche alternative Modelle aufgezeigt werden. Die Betonung des Modelltyps und der spezifischen Eigenschaften des Modells dürften zu einer langfristig gültigen Bildung führen, die nicht nur auf spezielle Inhalte der Informatik beschränkt ist.

Auch Überlegungen auf theoretischen Modellen (Turingmaschine u.a.) begründen sich zuletzt in dem Wunsch, eine effiziente Software zu erstellen bzw. zu ergründen, ob bestimmte Probleme mit Software überhaupt lösbar sind. Die Verwendung von Untersuchungsmodellen und theoretischen Maschinenmodellen ist eine wichtige Arbeitsweise der Informatik und sollte im Informatikunterricht berücksichtigt werden. Die Schüler erkennen, dass (in der Informatik) bestimmte Modelle für bestimmte Aufgaben verwendet werden. Insbesondere lernen sie mit informatischen Modellen verschiedene Methoden der Modellbildung kennen und anwenden (vgl. II 3.1).

Mathematische analytische Modelle zur Untersuchung von Eigenschaften eines Informatiksystems dürften aufgrund der notwendigen Abstraktionsfähigkeit eher für die Oberstufe geeignet sein, während Simulationsmodelle basierend auf graphischen Notationen schon in der Klasse 10 eingeführt werden können. Das mathematische Modell im Sinne der mathematischen Modelltheorie bietet eine wunderbare Fächerverbindung zwischen Informatik und Mathematik, sofern in der Schulmathematik Aussagenlogik betrieben wird. Ist dies nicht der Fall, kann die Informatik diesen Modelltyp im „Alleingang“ motivierend im Kontext der logischen Programmierung behandeln.

Informatische Modelle können dem Erkenntnisgewinn dienen⁴⁰. Sei es bezogen auf Informatiksysteme oder als Dienstleistung für Modelle anderer Fachwissenschaften. Aus allgemeinbildender Sicht ist letzteres hervorzuheben, aus wissenschaftspropädeutischer ersteres. Daraus ergibt sich die Schwerpunktsetzung für den Oberstufen- und den Mittelstufen-Unterricht im Rahmen eines Themas Modellbildung und Simulation. Es ist jedoch darauf zu achten, dass Modelle, die von anderen Fachrichtungen der Informatik – speziell dem Softwaretechniker – zur Verfügung gestellt werden, als nicht-informatische Modelle bezeichnet werden, damit kein falsches Bild von der Informatik erzeugt wird (z.B. als Sozialwissenschaft). Für den Informatikunterricht erscheint es insbesondere angemessen, im Sinne eines fachübergreifenden Arbeitens von einer Wirklichkeit auszugehen und die Modellkette bei der Konstruktion eines informatischen Modells bewusst zu machen.

Die Ausbildung von Sprachkompetenz ist nicht nur Aufgabe des Schulfachs Deutsch. In der Informatik wird durch die Verwendung von Vorgehensmodellen und entsprechender Dokumentation einzelner Phasen Sprachkompetenz auf unterschiedlichen Sprachebenen erworben. Die hierbei eingesetzten semantischen Modelle bauen aufeinander auf und müssen größtenteils ineinander überführt werden. Natürliche Sprache, Fachsprache und künstliche Sprache beziehen sich aufeinander und grenzen sich voneinander ab. Sprache als Modellierungssprache und als formale Sprache wird hinsichtlich Syntax, Semantik und Pragmatik in einer Art und Weise

³⁹ Man schaue in diverse Artikel der LOGIN.

⁴⁰ Erkenntnisgewinn für den Menschen, aber auch für ein System.

untersucht und betrachtet, wie dies der Deutsch- oder Fremdsprachenunterricht nicht leistet und vermutlich auch nicht leisten möchte. So wurde insbesondere dem Fach Latein zugute gehalten, dass diese "tote" Sprache ein strukturorientiertes mentales Modell schafft, das dem Spracherwerb anderer Sprachen hilfreich ist. In ähnlicher Weise lässt sich für das Fach Informatik argumentieren, dass Sprache in ihre Bauteile zerlegt, in andere Sprachen überführt und mittels Metasprachen beschrieben wird. Hier lassen sich ggf. die Reduktionsschritte „Semiotisierung“, „Formalisierung“ und „Algorithmisierung“ von Hoppe und Luther bzw. Claus (s. S. 12) integrieren, um die semantischen Stufen von Stachowiak zu durchlaufen.

Durch Gegenüberstellung verschiedener Ziele einer informatischen Modellbildung könnten die vier Zwecke von Modellierung nach Wüstneck (s. S. 31) in der Informatik aufgezeigt werden, z.B.

- 1) Information mit Informatiksystemen darstellen, verarbeiten und kommunizieren,
- 2) Erkenntnisse durch Simulationen auf Informatiksystemen gewinnen,
- 3) Grenzen und Möglichkeiten von Informatiksystemen als Ersatzsysteme diskutieren,
- 4) Methoden zur Produktion von Soft- und Hardware entwickeln.

Fazit

Es zeigt sich anhand der dargestellten Themen, dass die im Kapitel III dargestellten Systematiken im Zusammenhang mit zugeordneten Modellen der Informatik eine Art „Checklisten“ darstellen, um abzusichern, dass die Modelltypen im Rahmen einer Leitlinie „Informatische Modellbildung“ ausreichend berücksichtigt werden. Auf diese Weise sollte es gelingen, die Fragestellungen der Informatik in einen Informatikunterricht in umfassenderweise zu integrieren. Andererseits können im Zusammenhang mit dem Automatisieren von Informationsverarbeitung unterschiedliche Modelle und Modelltypen im Unterricht systematisch erfahren werden, wenn die Systematiken in reduzierter Form im Unterricht thematisiert werden (z.B. unter der Fragestellung „In welcher Art und Weise können geistige Tätigkeiten mit Automaten nachgebaut werden?“)

3. Gedanken zur Unterrichtsmethodik

Die AMT basiert u.a. auf dem pragmatischen Entschluss, d.h. Modelle dürfen nicht um ihrer selbst willen behandelt werden⁴¹, sondern sind stets an Intentionen eines Subjekts oder einer Gruppe gebunden. Dies stärkt die Argumentation für einen problemorientierten Zugang zu informatischen Modellen und Modellieren.

Welches Unterrichtsverfahren bietet sich bei Berücksichtigung der Leitlinie „Informatische Modellierung“ an? Die Antwort scheint relativ leicht zu fallen, da die Vorgehensmodelle einen Rahmen für ein Unterrichtsverfahren vorgeben, der alle anderen informatischen Modelle integrieren kann. Ähnlich den Naturwissenschaften könnte der Unterrichtsverlauf als ein Problemerkennungs- und Problemlöseprozeß gestaltet werden. Es bietet sich beispielsweise ein offenes und problemorientiertes Unterrichtsverfahren, wie das von Heinrich Roth, an (vgl. [Tho96], S. 17f; s.a. [Mey94], S. 183ff). Wir ordnen diesem Verfahren die Schritte des „einfachen“ Phasenmodells zu.

⁴¹ Dieser Fehler wurde und wird in der Praxis des Informatikunterrichts bereits mit der schwerpunktmäßigen Schulung einer Programmiersprache o.ä. gemacht.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Stufe der Motivation | • Problem |
| 2. Stufe der Schwierigkeit | • Problemanalyse |
| 3. Stufe der Lösung | • Entwurf |
| 4. Stufe des Tuns und Ausführen | • Implementierung |
| | • Überprüfung, Installation, Abnahme |
| 5. Stufe des Behaltens und Einübens | ↗ |
| 6. Stufe des Bereitstellens, der Übertragung und der Integration des Gelernten | ↗ |

Offensichtlich lässt sich das Phasenmodell der Informatik gut in die ersten vier Stufen des pädagogischen Schemas von Roth integrieren. Problematisch ist jedoch, dass die letzten beiden Stufen nicht unmittelbar erfasst werden. In der Unterrichtspraxis wird dieser Eindruck häufig bestätigt, da im Vergleich zu anderen Schulfächern, die Übungsphasen nicht ausreichend repräsentiert sind. Um diese Phasen zu erfassen, wird meist ein neues Projekt durchgeführt, in dem die Stufen 5 und 6 für das vorhergegangene Projekt berücksichtigt werden. Es ist Aufgabe der Fachdidaktik für dieses Problem zukünftig weitere Lösungsansätze zu erarbeiten.

Iterierte oder objektorientierte Vorgehensmodelle, zeichnen sich dadurch aus, dass Rücksprünge zu vorhergegangenen Phasen möglich sind oder die Grenzen zwischen den Phasen fließend sind. Im Informatikunterricht ist sicherzustellen, dass Ergänzungen zu „vorhergehenden“ Phasen auch im entsprechenden Modell berücksichtigt werden. Wenn beispielsweise während der Entwurfsphase neue Anforderungen an das System als sinnvoll erscheinen, muss die Anforderungsdefinition angepasst werden (in Rücksprache mit den Auftraggebern). Das pädagogische Stufenschema von Roth muss also einen Rückschritt von Stufe 3 zu Stufe 2 zu lassen. Dies ermöglicht eine erneute Anwendung und damit eine Einübung von Lerninhalten, so dass die obigen Aussagen zu den Stufen 5 und 6 etwas relativiert werden können. Weitere Durchlässigkeiten zwischen den Stufen, wie dies in der objektorientierten Softwareentwicklung möglich ist, würden wir für den Schulunterricht eher nicht empfehlen, da dies rasch zu einer Vernachlässigung der Dokumentationen für Phasen der Softwareentwicklung führt, die nicht der Implementierung zuzuordnen sind. Damit würde aber eine Programmierlastigkeit des Informatikunterrichts (genauer: die Kodierung) verstärkt.

Für die vierte Stufe des „Tuns und Ausführens“ lassen sich für den Informatikunterricht drei alternative Wege aufzeigen (in Anlehnung an [Koe89]):

4a: Kodieren eines neuen Quellprogramms

4b: Modifizieren eines bestehenden Programms oder Prototyps

4c: Verwenden eines Standard-Programms ohne größere Modifikationen

Damit stellt das Unterrichtsverfahren gleichzeitig eine Methode zur Lösung von Problemen mit Hilfe von Informatiksystemen dar, die nicht stets das „Rad neu erfinden“ muss.

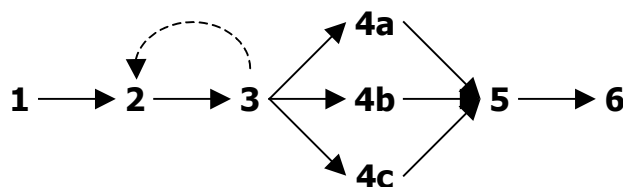


Abb. 12 Schrittfolgen in einem möglichen Unterrichtsverfahren

Architektur-, Entwurfs- und Untersuchungsmodelle dürften vorwiegend in der Entwurfsphase, mentale Modelle vor allem in der Problemanalyse von Bedeutung sein.

Eine Auseinandersetzung mit informatischen Fragestellungen muss jedoch nicht zwingend einem konstruktiv-problemlösenden Unterrichtsverfahren nachgehen, sondern kann z.B. auch historisch-problemorientiert erfolgen (vgl. [Jan86] zum Schulfach Chemie). Dabei sollen die Schüler den Weg der Erkenntnisgewinnung oder der Evolutionsgeschichte der Informatik, möglichst anhand von historischem Quellenmaterial, nachvollziehen. Ausgehend von einer Fragestellung, z.B. „Wie kann eine Maschine mathematische Grundoperationen ausführen?“ oder „Inwieweit kann ein Informatiksystem (natürliche) Sprache verarbeiten?“, werden exemplarisch spannende Episoden, wichtige Entwicklungen und gesellschaftliche Aspekte aus der Geschichte der Informatik erschlossen, wobei insbesondere die Modellketten unterschiedlicher Typen innerhalb der Informatik sichtbar werden (z.B. bei Rechenmaschinen oder Sprachklassen). Auch bei diesem Vorgehen bietet sich eine Orientierung am Stufenmodell von Roth an, um eine „reine“ Wissensvermittlung zu vermeiden.

4. Anmerkungen zur Fachsprache im Informatikunterricht

Im Unterricht ist die Fachsprache ein wichtiges Kommunikationsmittel zwischen Lehrer und Schülern. Fachbegriffe müssen schülerorientiert und sachgerecht im Unterricht verwendet werden. Dies gilt auch für den Informatikunterricht. Untersuchungen zur Fachsprache im Informatikunterricht stellen daher einen eigenen didaktischen Forschungsbereich dar. Für den Modellbegriff haben wir in Abschnitt III 2. gezeigt, dass die Fachsprache der Kerninformatik den Modellbegriff vorwiegend für semantische Modelle verwendet. Es wurde aber auch deutlich, dass in sehr unterschiedlichem Umfang der Begriff „Modell“ für bestimmte Modelle verwendet wurde.

Zwar ist der Modellbegriff zur Aufstellung einer didaktischen Leitlinie geeignet, doch könnte ein zu intensiver Gebrauch des Wortes „Modell“ im konkreten Unterricht zu Verwirrung führen. Peter Schefe hat dem Softwaretechniker empfohlen, den Modellbegriff nur zu verwenden, wenn die spezielle Bedeutung (der Modelltyp, der Zweck des Modells) aus dem Kontext eindeutig hervorgeht.

Wir schlagen daher vor, den Modellbegriff im Unterricht zu verwenden:

- a) bei einer bewussten Strukturierung von Modellen nach Typen (s. Systematiken),
 - b) für Begriffe die in der Fachsprache eindeutig als Modelle bezeichnet werden (s. III 2.3) und
 - c) im Rahmen einer bewussten Auseinandersetzung mit der informatischen Modellbildung
- Letztlich geht es weniger um das Erlernen einer Begriffsbezeichnung als um die Schaffung von Begriffsverständnissen.

Häufig ist eine Unterscheidung zwischen den Begriffen „Modell“ und „Modellierungstechnik“ nicht präzise durchführbar. Modellierungstechnik meint im engeren Sinne, wie ich zu einem Modell gelange. Also die Operationen die hierzu notwendig sind (Präterition usw.) Letztlich kann aber nur anhand von Modellierungsoperationen entschieden werden, zu welchem Original das Betrachtete ein Modell ist. Andererseits können Modelle als Technik angesehen werden, die zur Erschließung von Wirklichkeit dienen. Zur Fachsprache im Informatikunterricht sind vertiefende Überlegungen notwendig.

Zusammenfassung

Informatische Modelle stellen ein Bildungsgut zur Enkulturation des Modellierens von Modellen dar und lassen sich an interessanten und anspruchsvollen Themen konstruktiv und explorierend erschließen. Die Merkmale der Allgemeinbildungsbegriffe von Klafki sowie von Bussmann und Heymann können auf informatische Modelle und auf das informatische Modellieren von Modellen mit Erfolg angewandt werden, so dass eine Leitlinie „Informatische Modellbildung“ als allgemeinbildend gelten darf. Allerdings ist diese Leitlinie breiter als bisher angenommen. Zur

notwendigen Prüfung der Eignung einzelner informatischer Modelle und Hauptmodelltypen für einen konkreten Informatikunterricht kann beispielsweise die Didaktische Analyse von Klafki verwendet werden, welches an einem Beispiel skizziert wurde.

Mittels der Systematiken zu (informatischen) Modellen kann abgesichert werden, dass die Vielfalt informatischer Forschungen in einem Informatikunterricht berücksichtigt wird. Themen und Inhalte eines zukünftigen Informatikunterrichts dürfen nicht nur Modelle der Softwaretechnik behandeln, sondern sollten diese in einen übergeordneten Zusammenhang des Modellierens von Modellen im Kontext einer Automatisierung von Informationsverarbeitung stellen.

Durch Kombination informatischer Vorgehensmodelle mit dem problemlösenden Unterrichtsschema von Roth lässt sich ein Unterrichtsverfahren aufbauen, das sich an der Informatik orientiert, aber an den Bedingungen von Schule ausgerichtet ist. Dabei lässt sich erkennen, dass zu den Phasen des Übens, Behaltens und Übertragens von Inhalten intensivere Forschungen notwendig sind, da die Gefahr besteht, dass diesen in einem projektorientierten Informatikunterricht, methodisch bedingt, eine eher untergeordnete Rolle zukommt. Eine Auseinandersetzung mit informatischen Fragestellungen kann auch über ein historisch-problemorientiertes Unterrichtsverfahren stattfinden.

Für die im Informatikunterricht zu verwendende Fachsprache wird vorgeschlagen, den Modellbegriff zu benutzen, wenn der Modellcharakter deutlich werden soll oder es sich um einen Fachbegriff handelt.

Die sich aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen zum Modellbegriff ergebenden Konsequenzen für einen Informatikunterricht konnten nur ansatzweise umrissen werden. Weitere Forschungen sind erforderlich.

Rückblick und Ausblick

Seit den anwendungsorientierten Ansätzen zum Informatikunterricht wird einerseits die Bedeutung informatischer Modelle und informatischer Modellierung in der fachdidaktischen und fachcurricularen Literatur betont, andererseits fehlt gleichzeitig ein Konsens darüber, was unter diesen Begriffen zu verstehen ist. Diese Zwiespältigkeit dürfte eine Ursache für die recht unterschiedlichen Positionen zu den Inhalten und zum Stellenwert eines Informatikunterrichts im Rahmen einer allgemeinbildenden Schulausbildung sein.

Diese Erkenntnisse aus Kapitel I führten zu drei fachdidaktischen Fragen, denen in dieser Arbeit nachgegangen wurde:

1. Welche Modelle und Modelltypen sind in der Informatik von Bedeutung?
2. Warum soll sich ein Schüler mit (bestimmten) Modellen der Informatik auseinandersetzen?
3. Was bietet der Informatikunterricht gegenüber anderen Schulfächern bezüglich der Modellbildung Neues?

Ziel unserer Arbeit war es, den Stellenwert einer „Informatischen Modellbildung“ über Antworten zu diesen drei Fragen abzusichern, um damit einen Beitrag zur Legitimierung des Schulfaches Informatik zu leisten und eine verstärkte Orientierung der Lehrpläne an den Inhalten und Methoden der Wissenschaft Informatik zu eröffnen.

In den untersuchten fachdidaktischen Ansätzen zeigte sich ebenso wie in den Informatik-Lehrplänen der einzelnen Bundesländer ein uneinheitliches Bild zum Modellieren von Modellen in der Informatik. In den fachdidaktischen Ansätzen fehlen für die jeweils genannten Modelle ausreichende didaktisch-methodische Konkretisierungen und eine ganzheitliche Begründung hinsichtlich eines informatischen Beitrags zum Modellieren von Modellen im Rahmen einer Allgemeinbildung.

Eine Auseinandersetzung mit den Allgemeinbildungsbegriffen von Klafki und Bussmann/Heymann lieferte zahlreiche Merkmale, mit denen sich ein allgemeinbildender Charakter informatischer Modelle und informatischer Modellierung aufzeigen lassen sollte. Insbesondere die Erkenntnis, dass Kulturgut als Bildungsgut im Sinne Klafkis zur Ausbildung von Allgemeinbildung beiträgt, wurde für eine Argumentation zum allgemeinbildenden Charakter einer „Informatischen Modellbildung“ von uns weiter verfolgt, da der Informatik von Autoren der Allgemeinen Didaktik wie auch der Fachdidaktik zumindest „kulturtechnischer Charakter“ zugesprochen wird.

Zur Vorbereitung der Untersuchungen zum Modellbegriff in der Informatik und der unterrichtlichen Relevanz einer informatischen Modellbildung für den allgemeinbildenden Schulunterricht wurde in Kapitel II die kulturelle Verankerung des Begriffs „Modell“ analysiert. Es konnte zum einen aufgezeigt werden, dass das Modellieren von Modellen in den unterschiedlichsten Lebens- und Wissenschaftsbereichen bedeutsam ist und somit eine Kulturtechnik darstellt. Dabei hat sich das Begriffsverständnis zum Wort „Modell“ von der ursprünglich handwerklich-künstlerischen Verankerung gelöst und ist heute in weit umfangreicherem Sinne in Gebrauch. Dies konnte auch mit den recht unterschiedlichen Begriffsverständnissen in den verschiedenen Wissenschaftsbereichen gezeigt werden.

Um eine zu frühe Einengung des Modellbegriffs zu vermeiden, wurden zunächst Merkmale zur Charakterisierung von Modellen im Allgemeinen erfasst. An verschiedenen Kriterien orientierte Systematiken wurden für Modelle im Allgemeinen zusammengestellt, um anhand dieser Systematiken unterschiedliche Modelle in der Informatik zu suchen.

Zur näheren Bestimmung des Suchbereichs, in dem nach informatischen Modellen geforscht werden soll, haben wir uns zu Beginn von Kapitel III mit der Frage nach dem Selbstverständnis der Informatik beschäftigt. Die Erkenntnis war, dass zu der Wissenschaft Informatik zahlreiche Definitionen mit teilweise stark unterschiedlichen Schwerpunkten existieren, so dass eine Einordnung in den Wissenschaftskanon schwierig ist (ebenso wie eine Einordnung in die Aufgabenfelder der Oberstufe). Das Wesen der Informatik wird derzeit zweckmäßiger durch ihre Inhalte in Forschung und Lehre bestimmt. Unsere Suche nach informatischen Modellen konzentrierte sich daher auf den Gebrauch des Modellbegriffs in der Fachsprache in Vorlesungsskripten zur Kerninformatik.

Zunächst haben wir uns jedoch Arbeiten zu „mental Modellen“ der Informatik zugewandt, da dieser Modelltyp – trotz seiner grundlegenden Bedeutung für beispielsweise die Softwaretechnik und für den zielgerichteten Einsatz von Informatiksystemen – häufig vernachlässigt wird. Einerseits können mentale Modelle (auch im Unterricht) exploriert und gezielt durch Metaphern und konzeptuelle Modelle aufgebaut werden. Andererseits kann durch die Bewusstmachung mentaler Modelle dieser Modelltyp (von den Schülern) reflektiert werden. Dies sollte (beim Schüler) zu der Erkenntnis führen, dass es weder *die* Modellbildung noch *die* perfekte Problemlösung (in der Informatik) gibt, sondern Modelle stets zweck-, subjekt- und zeitorientiert erstellt und verwendet werden, womit (Schülern) wesentliche Eigenschaften des allgemeinen Modellbildungsbegriffs bewusst werden.

Zur Präzisierung des Modellbegriffs in der Informatik wurden annähernd 150 Vorlesungsskripte zur Kerninformatik aus den Jahren 1995 bis 2001 von neun universitären Einrichtungen hinsichtlich der Verwendung des Wortes „modell“ untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass das Wort „modell“ in der Fachsprache nicht nur häufig sondern auch in vielfältiger Weise genutzt wird, wobei semantische und graphische Modelltypen überwiegen. Dies kann als ein Beleg dafür gelten, dass das Modellieren von Modellen in der Informatik einen zentralen Stellenwert besitzt. Es konnten fünf Hauptmodelltypen als Metamodelle aufgestellt werden. Für die Hauptmodelltypen und ihre halb-quantifizierten Untermodelle wurde das jeweils vorgefundene Begriffsverständnis kurz erläutert, so dass eine dokumentierte Systematik zur Absicherung von Inhalten hinsichtlich einer „Informatischen Modellbildung“ für den Informatikunterricht entstand.

In einem weiteren Schritt wurde den in Kapitel II herausgearbeiteten Systematiken zur Allgemeinen Modelltheorie von Stachowiak und zum allgemeinen Zweck von Modellierung nach Wüstneck informatische Modelle zugeordnet, so dass die umfassende Vielfalt der informatischen Modelle deutlich wurde. Dabei wurden auch informatische Modelle berücksichtigt, die nicht explizit als Modelle bezeichnet werden. Insbesondere zeigte sich, dass in der Informatik die Bildung von Modellketten, in denen ein Modell das Vorbild für das nächste Modell bildet, häufig bewusst durchgeführt wird.

Die Untersuchungen zum Modellbegriff führten zu der Feststellung, dass das Modellieren von Modellen in der Informatik einen zentralen Stellenwert hat und dass informatische Modelle nahezu alle Modelltypen im Allgemeinen umfasst. Eine Ursache liegt offensichtlich darin, dass die Informatik die Verarbeitung von Information zum Gegenstand und Inhalt hat.

Mithilfe der im ersten Kapitel aufgeführten Merkmale der Allgemeinbildungsbegriffe von Klafki und von Bussmann/Heymann gelang es in Kapitel IV einen Nachweis zu erbringen, dass informatische Modelle ein Bildungsgut zur Enkulturation des allgemeinen Modellierens von Modellen darstellen, insbesondere da informatisches Modellieren zumeist konstruktiv erfolgt und Enkulturation eine produktive Tätigkeit mit dem Kulturgut erfordert. Damit ist auch eine Leitlinie „Informatische Modellbildung“, die ein weites Begriffsverständnis zum Modellieren von Modellen enthält, für eine Allgemeinbildung legitimiert.

Um die praktische Umsetzbarkeit der Leitlinie „Informatische Modellbildung“ ansatzweise nachzuweisen, führten wir in Kapitel IV einige Themen für den Informatikunterricht auf, die sich

zum einen aus den Systematiken zu den (informatischen) Modellen ergeben und sich zum anderen mit diesen Systematiken rechtfertigen lassen. Es wird deutlich, dass die Inhalte in diesen informatischen Themen, die sich durch die Orientierung am Modellieren von Modellen ergaben, die Fragestellungen der Wissenschaft Informatik wesentlich umfassender wiedergeben, als dies bisher in den einzelnen Lehrplänen der Fall ist. Insofern können die Ausführungen zu den Themen als ein Hinweis für die gute Eignung der Systematiken als Werkzeug für den Informatikunterricht gesehen werden, um die Berücksichtigung wesentlicher Inhalte und Fragestellungen der Wissenschaft Informatik abzusichern. Eine Leitlinie „Informatische Modellbildung“, die sich systematisch an der Vielfalt informatischer Modelle orientiert, erweist sich daher für die Ausweisung von Zielen, Inhalten und Themen in Lehrplänen und die Gestaltung der Unterrichtspraxis des Faches Informatik als recht nützlich.

Die Eignung von informatischen Vorgehensmodellen (einem Hauptmodelltyp) als Unterrichtsverfahren wurde aufgezeigt, indem das Phasenmodell dem problemlösenden pädagogischen Unterrichtsschema von H. Roth gegenübergestellt wurde. Die Kombination des informatischen Phasenmodells mit dem pädagogischen Unterrichtsschema führte zu einem Unterrichtsverfahren für den Informatikunterricht, das ein Vorgehensmodell der Informatik für die Unterrichtspraxis didaktisch integriert. Dabei wurden Defizite hinsichtlich der Berücksichtigung von Übungs- und Vertiefungsphasen aufgedeckt. Um die Entwicklungsgeschichte von informatischen Modellen und Modellketten im Unterricht zu behandeln, wird auch ein historisch-problemorientiertes Unterrichtsverfahren vorgeschlagen.

In Anmerkungen zur Fachsprache wurde festgehalten, dass der Modellbegriff im Informatikunterricht, ebenso wie in der Informatik, nicht um seiner selbst willen verwendet werden sollte, sondern insbesondere dann, wenn eine bewusste Auseinandersetzung mit (informatischen) Modellen erfolgt.

Mit Blick auf die drei Fragestellungen bleiben als wesentliche Ergebnisse festzuhalten:

- In der fachdidaktischen und fachcurricularen Literatur besteht kein Konsens darüber, was unter einem informatischen Modellbegriff zu verstehen ist.
- Es bleibt in der jeweiligen Literatur ungeklärt, ob das Wesen der Informatik durch die jeweilige Auswahl an Modellen für den Informatikunterricht ausreichend erfasst wird.

zur Frage 1: „Welche Modelle und Modelltypen sind in der Informatik von Bedeutung?“

- Das Wissenschaftsverständnis zur Informatik ist nicht einheitlich und somit nicht eindeutig.
- Das Wesen der Informatik bestimmt sich derzeit zweckmäßig an den Inhalten in Forschung und Lehre.
- Das Wort „Modell“ wird in der Wissenschaft Informatik äußerst häufig verwendet.
- In der Fachsprache lassen sich fünf Hauptmodelltypen für die Kerninformatik aufzeigen: Architektur-, Vorgehens-, Entwurfs-, Untersuchungsmodelle und mentale Modelle. Diese sind von semantischem und graphischem Typ. Technische Modelle werden eher als Systeme bezeichnet.
- Mentale Modelle haben einen bedeutenden Stellenwert bei der Anwendung und Entwicklung von Informatiksystemen.
- Es treten keine gravierenden Unterschiede zum Modellverständnis bei den jeweiligen informatischen Modellen zwischen den Teilbereichen der Kerninformatik auf.
- Die Vielfalt informatischer Modelle umfasst annähernd alle allgemeinen Modelltypen.
- Modelle der Softwareentwicklung bilden nur eine Teilmenge der informatischen Modelle.

Antwort: Dem Modellieren von Modellen kommt in der Wissenschaft Informatik ein zentraler Stellenwert zu, was sich einerseits an der Vielfalt informatischer Modelle und andererseits an der

Verknüpfung von Modellen unterschiedlicher Modelltypen zu Modellketten festmachen lässt. Die Vielfalt der informatischen Modelle konnte in Systematiken nach Modelltypen geordnet und dokumentiert werden, wobei fünf Hauptmodelltypen für die Kerninformatik herausgestellt wurden.

zur Frage 2: „Warum soll sich ein Schüler mit (bestimmten) Modellen der Informatik auseinandersetzen?“

- Das Modellieren von Modellen ist eine kulturell-tradierte Tätigkeit des Menschen.
- Die Merkmale der Allgemeinbildungsbegriffe von Klafki und Bussmann/Heymann lassen sich auf informatische Modelle anwenden.
- Informatische Modelle sind ein Bildungsgut nach Klafki, das eine Modellierungskompetenz erzeugen könnte.
- Mentale Modelle sind grundlegend für das Verständnis von Informatiksystemen, erfordern aber eine Exploration der Modelle oder Sachbereiche, denen sie zuzuordnen sind.
- Anhand der Systematiken zu den (informatischen) Modellen und dem Modellieren von Modellen kann dem Schüler ein vollständiges Bild sowohl der Informatik als auch des Modellierens von Modellen vermittelt werden.
- Informatische Modelle werden im Kontext der automatisierten Verarbeitung von Information eingesetzt. Diese ist eine wesentliche Erscheinungsform der „Welt“ neben Energie und Materie.

Antwort: Informatische Modelle sind ein Bildungsgut, das für die kulturell-tradierte Tätigkeit des Modellierens von Modellen im Allgemeinen steht. Da informatische Modelle in einen produktiven Prozess eingebunden sind, wird dem Schüler eine Enkulturation des Modellierens von Modellen ermöglicht. Eine Auseinandersetzung mit informatischen Modellen kann zu einer Reflektion der Verwendung von Modellen sowie der Informationsverarbeitung durch den Menschen führen. Aufgebaute mentale Modelle zu Informatiksystemen erleichtern deren werkzeugorientierten Einsatz.

zur Frage 3: „Was bietet der Informatikunterricht gegenüber anderen Schulfächern bezüglich der Modellbildung Neues?“

- In der Wissenschaft Informatik finden sich Modelle *aller* allgemeinen Modelltypen.
- Die vier allgemeinen Zwecke von Modellierung lassen sich *vollständig* in der Informatik wiederfinden.
- Eigenschaften des allgemeinen Modellierens können an informatischen Modellen konstruktiv, systematisch *und* umfassend erfahren werden (Modellketten, Elemente des Modellbildungsprozesses, Modelltypen, Modelloperationen, u.a.).
- Fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten scheint in der Informatischen Modellbildung immanent verankert zu sein.
- Unterschiedliche Modelltypen können im Rahmen der Informationsverarbeitung miteinander verglichen werden.
- Zielkonflikte sind immanente Bestandteile informatischer Modellbildung.
- Fehler können eigenständig und gefahrlos im Unterricht erfahren und verbessert werden.

Antwort: Der besondere Beitrag der Informatik bzgl. der Modellbildung liegt zum einen in der umfassenden Vielfalt informatischer Modelle, die in einem Informatikunterricht zu einer Enkulturation eines allgemeinen Modellbegriffs führen kann. Zum anderen erfolgt mit informatischen Modellen eine vergleichende Auseinandersetzung mit der Informationsverarbeitung beim Menschen und bei der Maschine. Ein wichtiger Aspekt ist die Stärkung des Schüler-Ichs durch die eigenständige Auseinandersetzung mit Fehlern und durch die Akzeptanz von Fehlern.

Fazit

Eine Leitlinie „Informatische Modellbildung“ legitimiert sich durch die Möglichkeit einer Enkulturation des Modellierens von Modellen am Bildungsgut „informatische Modelle“ und erweist sich für eine stärkere Orientierung der Lehrpläne an den Fragestellungen der Wissenschaft Informatik als nützlich.

Die Informatik als *die* Wissenschaft der Modellbildung zu bezeichnen wäre unangemessen, da die Informatik mit ihren Modellen nur bestimmte Zwecke verfolgt, die sich von denen anderer Wissenschaften unterscheiden. Allerdings ist das *umfassende* Modellieren von Modellen ein zentrales Element der Informatik, das einen besonderen Beitrag für den allgemeinbildenden Schulunterricht darstellt.

Ausblick

In dieser Arbeit waren zahlreiche Aspekte zu berücksichtigen, um den allgemeinbildenden Charakter eines Informatikunterrichts hinsichtlich des Modellierens von Modellen deutlich zu machen und zu begründen. Dabei konnten nicht alle Aspekte vollständig ausdiskutiert werden, so dass es weiteren Forschungen überlassen bleiben muss, die Ergebnisse dieser Arbeit zu bestätigen, zu ergänzen und zu erweitern.

Bezüglich der Zielsetzungen ist für eine vertiefende Legitimation des Informatikunterrichts und für eine schülergerechte Optimierung der Unterrichtspraxis unter anderem folgenden Forschungsaufgaben nachzugehen:

- Erweiterung der Literaturbasis zur Bestätigung der erzielten Ergebnisse.
Die Herausarbeitung von informatischen Modellen und die Präzisierung des Modellbegriffs stellt im konstruktivistischen Sinne nur den Beginn zum Aufbau einer einheitlicheren und verständlicheren Fachterminologie dar. Eine größere Literaturbasis dürfte eine als repräsentativer geltende Bestätigung der Ergebnisse dieser Arbeit erbringen und eine größere Auswahl an informatischen Modellen zu den Modelltypen und den Hauptmodelltypen aufzeigen.
- Ausarbeitungen zur didaktisch-methodischen Gestaltung eines Informatikunterrichts.
Für den Schulunterricht ist zu erarbeiten, wie eine Auseinandersetzung mit informatischen Modellen und den allgemeinen Modelltypen erfolgen kann und welche schülerorientierten Themen dafür besonders geeignet sind. Dabei gilt es Fachbegriffe, Gegenstände und Inhalte aus der Fachwissenschaft Informatik, dem jeweiligen Schülerniveau entsprechend, didaktisch zu reduzieren. Das Zusammenstellen und Evaluieren von nützlichen Metaphern und konzeptuellen Modellen zum Aufbau mentaler Modelle in der Informatik bietet ein weiteres Forschungsfeld.
- Empirische Studien zur Evaluation von Unterrichtssequenzen.
Ansatzweise haben wir eine Implementierung unserer Ideen und Erkenntnisse für die Unterrichtspraxis aufgezeigt. Für die Fachdidaktik Informatik gilt allgemein, dass ein Defizit an empirischen Studien zu Ansätzen und Zielen des Informatikunterrichts vorhanden ist. Auch die im Sinne der Ergebnisse dieser Arbeit zu entwickelnden Unterrichtssequenzen sind bezüglich ihrer Zielsetzung im konkreten Informatikunterricht empirisch zu überprüfen.
- Ausbau und Evaluation geeigneter Unterrichtsverfahren.
- Bestätigung des allgemeinbildenden Charakters mit anderen Kriterien zur Allgemeinbildung.
- Aufzeigen von Verknüpfungen der Leitlinie „Informatische Modellbildung“ mit anderen postulierten Leitlinien für den Informatikunterricht.

- Optimierung der Lehrpläne hinsichtlich der Repräsentation der Wissenschaft Informatik mit einer spiralcurricularen Orientierung an informatischen Modellen für bestimmte Modelltypen.

Es ist anzunehmen, dass entsprechende Forschungsergebnisse nicht nur Erkenntnisse für die Fachdidaktik der Informatik bereitstellen, sondern ebenso Konsequenzen für die Fortentwicklung des Informatikunterrichts, für die Lehrplanarbeit und für die Lehrerbildung und –fortbildung liefern.

FIN

Literatur

And95

ANDERSON, John R.: *Kognitive Psychologie*. Heidelberg (Spektrum Akad. Verlag) 1996.

Apo60

APOSTEL, Leo: *Towards the formal study of models in the non-formal sciences*. Aus: Freudenthal, Hans (Hrsg.): *The Concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences*. Dordrecht, Holland (D. Reidel Publishing Company) 1961. S. 1-37.

Arl81

ARLT, Wolfgang (Hrsg.): *Informatik als Schulfach. Didaktische Handreichungen für das Schulfach Informatik*. München, Wien (R. Oldenbourg Verlag) 1981. (= Datenverarbeitung, Informatik im Bildungsbereich. 4)

Bal78

BALKHAUSEN, Dieter: *Die dritte industrielle Revolution. Wie Mikroelektronik unser Leben verändert*. Düsseldorf (Econ Verlag) 1978.

Bar01

BARTKE, Peter; MAURER, Christian: *Thesen zum Informatikunterricht der Oberstufe*. Berlin 2001.
<http://www.fu-berlin.de/inst/ag-lfwb>.

Bau74

BAUER, Friedrich L.: *Was heißt und was ist Informatik? Merkmale zur Orientierung über eine neue wissenschaftliche Disziplin*. In: *IBM Nachrichten*, 24. Jg. (1974), H. 223, S. 333-337.

Bau90

BAUMANN, Rüdiger: *Didaktik der Informatik*. Stuttgart (Ernst Klett Schulbuchverlag) 1990.

Bau96

BAUMANN, R.: *Didaktik der Informatik. 2. neubearb. Aufl.* Stuttgart u.a. (Klett Verlag) 1996.

BaW01

BADEN-WÜRTTEMBERG: *Lehrplan Informatik. S. 33, 245-252 aus dem Bildungsplan für die Kursstufe des Gymnasiums*. Villingen (Neckar-Verlag GmbH) 2001. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SII/BWgk1213.pdf>.

BaW94

BADEN-WÜRTTEMBERG: *Bildungsplan für das Gymnasium. Informatik. S. 774-778 aus dem Bildungsplan für das Gymnasium*. Villingen (Neckar-Verlag GmbH) 1994.

BaW94a

BADEN-WÜRTTEMBERG: *Bildungsplan für die Hauptschule. Wirtschaftslehre/Informatik*. Villingen (Neckar-Verlag GmbH) 1994. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SI/bphs.pdf>.

Bav01

BAYERN: *Lehrplan für die sechsstufige Realschule (R6)*. München 2001. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SI/inf.pdf>.

Bav93

BAYERN: *Lehrplan Realschule (R4)*. München 1993. http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SI/Seiten_aus_r4e4.pdf.

Bav97

BAYERN: *Lehrplan für die Hauptschule. Informatik*. Kirchheim bei München (R. Oldenbourg Graphische Betriebe GmbH) 1997. http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/RahmenplanSI Brandenburg/bayern/by_hs.pdf.

Bav99

BAYERN: *Lehrplan Informatik für den Modellversuch am Europäischen Gymnasium III* München 1999. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SII/BYlp-inf-egy3.pdf>.

Ber81

BERLIN: *Rahmenplan für Unterricht und Erziehung in der Berliner Schule. Gymnasiale Oberstufe. Fach Informatik*. Berlin 1981.

Ber86

SENATOR FÜR SCHULWESEN, Berufsausbildung und Sport Berlin: *Vorläufiger Rahmenplan für Unterricht und Erziehung in der Berliner Schule - Klasse 9 und 10 - Gesamtschule, Realschule - Wahlpflichtunterricht Fach Informatik. Aufl. 2000* Berlin 1986.

Ber90

BERLIN: *Vorläufiger Rahmenplan für Unterricht und Erziehung in der Berliner Schule. Gymnasium Klasse 10. Wahlpflichtfach Informatik*. Berlin 1990.

BLK87

BUND-LÄNDER KOMMISSION FÜR BILDUNGSPLANUNG UND FORSCHUNGSFÖRDERUNG (BLK): *Gesamtkonzept für die informationstechnische Bildung*. Bonn 1987.

Boo99

BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar: *The unified software development process: UML. The complete guide to the Unified Process from the original designers*. Boston (Addison-Wesley) 1999. (= Addison-Wesley Object technology series)

Bra02

BRANDENBURG: *Rahmenlehrplan Informatik Wahlpflichtbereich*. Potsdam 2002. http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SI/bra_rpl.pdf.

Bra89

BRAUER, W.; BRAUER, U.: *Better tools - Less education?* Aus: Ritter, G. X. (Hrsg.): *Information Processing 89* Amsterdam (Elsevier Science Publishers) 1989. S. 101-106.

Bra92

BRANDENBURG: *Vorläufiger Rahmenplan Informatik. Gymnasiale Oberstufe, Sekundarstufe II.* Potsdam 1992. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/infobrandenburg.doc>.

Bre01

BREMEN: *Informatik - Rahmenplan für die Sekundarstufe II, Gymnasiale Oberstufe.* Bremen 2001. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SII/Bremen.pdf>.

Bre94

BREIER, Norbert: *Informatische Bildung als Teil der Allgemeinbildung. Stand und Perspektiven* In: *LOGIN*, 14. Jg. (1994), H. 5/6, S. 90-93.

Bro94

BROCKHAUS (Hrsg.): *Enzyklopädie. 19. Aufl. in 24 Bänden.* Mannheim (Brockhaus) 1994.

Buet95

BÜTTEMAYER, Wilhelm: *Wissenschaftstheorie für Informatiker* Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag) 1995. (= Spektrum Hochschultaschenbuch)

Car85

CAROLL, J. M.; MACK, R. L.: *Metaphor, computing systems, and active learning.* In: *IEEE International Journal of Man-Machine Studies*, 22. Jg. (1985), S. 39-57.

Cla95a

CLAUS, Volker: *Informatik in der Schule als Sprachen-Unterricht.* Aus: Schubert, Sigrid (Hrsg.): *Innovative Konzepte für die Ausbildung. GI-Fachtagung "Informatik und Schule 1995"* Berlin (Springer) 1995. (=Informatik aktuell) S. 40-48.

Coy01

COY, Wolfgang: *Was ist Informatik? Zur Entstehung des Faches an den deutschen Universitäten.* Aus: Desel, Jörg. (Hrsg.): *Das ist Informatik.* Berlin, Heidelberg, New York u.a. (Springer-Verlag) 2001. S. 1-22.

Coy92

COY, Wolfgang (Hrsg.): *Sichtweisen der Informatik.* Braunschweig (Vieweg) 1992. (= Theorie der Informatik)

Cru95

CRUTZEN, Cecile K. M.; HEIN, H.-W.: *Objektorientiertes Denken als didaktische Basis der Informatik.* Aus: Schubert, Sigrid (Hrsg.): *Innovative Konzepte für die Ausbildung. GI-Fachtagung "Informatik und Schule 1995"* Berlin (Springer) 1995. (=Informatik aktuell) S. 149-158.

Cyr90

CYRANEK, G.; FORNECK, H. J.; GOORHUIS, H. (Hrsg.): *Beiträge zur Didaktik der Informatik*. Aarau, Frankfurt/M., Salzburg (Diesterweg und Sauerländer) 1990. (= Beiträge zur Didaktik der Informatik, Bd. 1.)

Den89

DENNING : Aus: Coy, Wolfgang (Hrsg.): *Sichtweisen der Informatik*. Braunschweig (Vieweg) 1992. (=Theorie der Informatik)

Des01

DESEL, Jörg. (Hrsg.): *Das ist Informatik*. Berlin, Heidelberg, New York u.a. (Springer-Verlag) 2001.

Dud01

CLAUS, Volker; SCHWILL, Andreas: *Duden Informatik. Ein Fachlexikon für Studium und Praxis* Mannheim (Dudenverlag) 2001.

Dud90

DROSDOWSKI, Günther (Hrsg.): *Duden Fremdwörterbuch*. Mannheim (Dudenverlag) 1990. (= Der Duden in zwölf Bänden)

Dut94

DUTKE, Stephan: *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen (Verlag für Angewandte Psychologie) 1994.

Ebe98

EBERLE, Franz: *Didaktik der Informatik bzw. einer informations- und kommunikationstechnologischen Bildung auf der Sekundarstufe II* Aarau (Sauerländer) 1996. (= Pädagogik bei Sauerländer)

Eng95

ENGBRING, Dieter: *Kultur- und technikgeschichtlich begründete Bildungswerte der Informatik*. Aus: Schubert, Sigrid (Hrsg.): *Innovative Konzepte für die Ausbildung. GI-Fachtagung "Informatik und Schule 1995"* Berlin (Springer) 1995. (=Informatik aktuell) S. 68-77.

Eng96

ENGBRING, Dieter: *Allgemeinbildende Informatik. Annäherung an ein Paradoxon* In: *FIFF-Kommunikation*, Jg. 1996, H. 2, S. 1-8.

Eng99

ENGBRING, Dieter; OBERLIESEN, Rolf: *Kritische Informatik und (Allgemein-) Bildung. Soziale (Mit-) Gestaltung informationstechnologischer Entwicklungen*. In: *FIFF-Kommunikation*, Jg. 1999, H. 1, S. 28-34.

Fla76

FLASCHKA, Horst: *Modell, Modelltheorie und Formen der Modellbildung in der Literaturwissenschaft*. Köln, Wien (Böhlau-Verlag) 1981.

Foe96

FOEGEN, Malte: *Entwurf eines didaktischen Konzepts der Informatik. Diplomarbeit* Darmstadt 1996.

Fra72

FRANK, Helmar G.; MEYER, I.: *Rechnerkunde. Elemente der digitalen Nachrichtenverarbeitung und ihrer Fachdidaktik*. Stuttgart, Köln u.a (Kohlhammer Verlag) 1972.

Fre61a

FREY, G.: *Symbolische und ikonische Modelle* Aus: Freudenthal, Hans (Hrsg.): *The Concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences*. Dordrecht, Holland (D. Reidel Publishing Company) 1961. S. 89-97.

Fri95

FRIEDRICH, Steffen: *Informatik-Didaktik. Ein Fachgebiet im Aufbruch*. Aus: Schubert, Sigrid (Hrsg.): *Innovative Konzepte für die Ausbildung. GI-Fachtagung "Informatik und Schule 1995"* Berlin (Springer) 1995. (=Informatik aktuell) S. 33-39.

Fri95a

FRIEDRICH, Steffen: *Grundpositionen eines Schulfaches. Ergebnisse des 2. Fachdidaktischen Gesprächs zur Informatik an der Technischen Universität Dresden*. In: *LOGIN*, 15. Jg. (1995), H. 5/6, S. 30-34.

Fri97

FRIEDRICH, S.; NEUPERT, H.: *Lernen mit Netzen - Lernen über Netze*. In: *LOGIN*, 17. Jg. (1997), H. 6, S. 18-23.

Gi00

FACHAUSSCHUSS7.3: *Empfehlungen für ein Gesamtkonzept zur informatischen Bildung an allgemeinbildenden Schulen*. In: *LOGIN*, 20. Jg. (2000), H. 2.

Gi99

SCHUBERT, S.; HAUF-TULODZIECKI, A.: *Informatische Bildung und Medienerziehung. Empfehlung der Gesellschaft für Informatik e.V.* Bonn 1999.

Goo94

GOORHUIS, Henk: *Konstruktivistische Modellbildung in der Informatik*. Zürich, Diss. 1994 Als Manuskript gedruckt.

Ham89

HAMBURG: *Lehrplan Informatik für die gymnasiale Oberstufe*. Hamburg 1989.

Hes94

HESSEN: *Kursstruktur-Pläne gymnasiale Oberstufe, Aufgabenfeld III: Informatik*. Hannover (Schroedel Verlag) 1994. http://ddi.cs.uni-potsdam.de/0x8d593037_0x0000ea79.

Hey87

HEYMANN H.-W.; BUSSMANN H.: *Computer und Allgemeinbildung*. In: *Neue Sammlung*, Jg. 1987, H. 1, S. 2-39.

Hey96

HEYMANN, Hans Werner: *Allgemeinbildung und Mathematik*. Weinheim (Beltz) 1996.

Hey97

HEYMANN, H. W. (Hrsg.): *Allgemeinbildung und Fachunterricht*. Hamburg (Bergmann/Helbig) 1997.

Hop96

HOPPE, Ulrich H.; LUTHER, Wolfram J.: *Informatik und Schule. Ein Fach im Spiegel neuer Entwicklungen der Fachdidaktik*. In: *LOGIN*, 16. Jg. (1996), H. 1, S. 8-14.

Hub00

HUBWIESER, Peter: *Didaktik der Informatik. Grundlagen, Konzepte, Beispiele*. Berlin, Heidelberg, New York (Springer-Verlag) 2000.

Hub97b

HUBWIESER, Peter; BROY, Manfred: *Ein neuer Ansatz für den Informatikunterricht am Gymnasium* In: *LOGIN*, Jg. 1997, H. 3/4, S. 42-47.

Jan86

JANSEN, W.; FICKENFRERICH, H.: *Geschichte der Chemie im Chemieunterricht - das historisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren*. In: *MNU*, 39. Jg. (1986), S. 321ff, 391ff.

Job01

JOBMANN, M.: *Diskrete Simulation*. TU München, Vorlesungsskript 2001 Als Manuskript gedruckt.

Kei00

KEIL-SLAWIK, Reinhard: *Informatik und Gesellschaft*. Potsdam 1998. CD-ROM.

Kla74

KLAFFKI, Wolfgang: *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Weinheim-Basel 1974.

Kla91

KLAFFKI, Wolfgang: *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 3. Aufl. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Basel, Weinheim (Beltz-Verlag) 1993.

KMK72

KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BRD: *Vereinbarungen zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II*. o.O. 2001.

Koe89

KOERBER, B.; PETER, I.-R.: *Software-Bausteine im Unterricht*. In: *LOGIN*, 9. Jg. (1989), H. 6, S. 28-36.

Koe93

KOERBER, B.; PETER, I.-R.: *Informatikunterricht und informationstechnische Grundbildung - ausgrenzen, abgrenzen oder integrieren?*. Aus: Troitzsch, Klaus G. (Hrsg.): *Informatik als Schlüssel zur Qualifikation. GI-Fachtagung "Informatik und Schule"* Berlin, Heidelberg u.a (Springer Verlag) 1993. (=Informatik aktuell) S. 108-115.

Kro94

KRON, Friedrich W.: *Grundwissen Didaktik*. München (Ernst Reinhardt) 1994. (= UTB für Wissenschaften: Grosse Reihe)

Leh92

LEHMANN, Gabriele: *Ziele im Informatikunterricht. Beispiele für Einsatz und Stellenwert von PROLOG im Unterricht*. In: *LOGIN*, 12. Jg. (1992), H. 1, S. 26-30.

Loc69

LOCH, W.: *Enkulturation als anthropologischer Grundbegriff der Pädagogik*. Aus: Weber, E. E. (Hrsg.): *Der Erziehungs- und Bildungsbegriff im 20. Jahrhundert. 3. erw. Aufl.* Bad Heilbrunn/Obb. (Julius Klinkhardt Verlag) 1976. S. 122-140.

Loet78

LÖTHER, Rolf; HÖRZ, Herbert; WOLLGAST, Siegfried: *Philosophie und Naturwissenschaften. Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften*. Berlin (Dietz Verlag) 1978.

Lor87

LORENZEN, P.: *Lehrbuch der konstruktiven Wissenschaftstheorie*. Mannheim 1987.

Luf94

LUFT, Alfred Lothar; KÖTTER, Rudolf: *Informatik - eine moderne Wissenstechnik*. Mannheim (BI-Wiss. Verlag) 1994.

Maa92

MAAB, S.; OBERQUELLE, H.: *Perspectives and metaphors for human-computer interaction*. Aus: Floyd, C.; Züllighoven, H; Budde, R.; Keil-Slawik, R. (Hrsg.): *Software development and reality construction*. Berlin (Springer) 1992. S. 233-251.

Mag99

MAGENHEIM, J.; HAMPEL, T.; SCHULTE, C.: *Dekonstruktion von Informatiksystemen als Unterrichtsmethode*. Aus: Schwill, A. (Hrsg.): *Informatik und Schule 1999. Fachspezifische und fachübergreifende didaktische Konzepte*. Berlin (Springer) 1999. S. 149-164.

Mec01

MECKLENBURG-VORPOMMERN: *Rahmenplan Gymnasiale Oberstufe, Informatik Erprobungsfassung* Schwerin (cw Obotritendruck) 2001.
<http://www.hyfisch.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SII/Mecklenburg-Vorpommern.pdf>.

Mey72

BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT MEYER (Hrsg.): *Meyers Enzyklopädisches Lexikon. 9. Aufl. in 25 Bänden.* Mannheim 1972.

Mey94

MEYER, Hilbert: *Unterrichtsmethoden. I: Theorieband - 6. Auflage 1994.* Frankfurt am Main (Cornelsen Verlag Scriptor) 1987.

Muel83

MÜLLER, Robert: *Zur Geschichte des Modelldenkens und des Modellbegriffs.* Aus: Stachowiak, Herbert (Hrsg.): *Modelle - Konstruktionen der Wirklichkeit.* München (Wilhelm Fink Verlag) 1983. S. 17-86.

Nie93

NIEDERSACHSEN: *Rahmenrichtlinien für die Realschule, Informatik.* Hannover (Schroedel Verlag) 1993.

Nie93a

NIEDERSACHSEN: *Rahmenrichtlinien für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg - Informatik.* Hannover (Schroedel Verlag) 1993.

Nor93a

NORDRHEIN-WESTFALEN: *Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium, Sekundarstufe I, Informatik.* Frechen (Ritterbach Verlag) 1993.

Nor99

NORDRHEIN-WESTFALEN: *Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II.* Frechen (Ritterbach Verlag) 1999.

Nvg86

NYGAARD, Kristen: *Programm Development as a Social Activity.* Aus: Kugler, H.-J. (Hrsg.): *Information Processing 86.* Amsterdam, u.a. 1986. S. 189-198.

Oert80

OERTER, Rolf: *Psychologie des Denkens.* Donauwörth (Ludwig Auer) 1980.

Pesch89

PESCHKE, R.: *Die Krise des Informatikunterrichts in den neunziger Jahren.* Aus: Stetter, F.; Brauer, W. (Hrsg.): *Zukunftsperspektiven der Informatik für Schule und Ausbildung GI-Fachtagung "Informatik und Schule" 1989* Berlin, Heidelberg u.a. (Springer) 1989. (=Informatik-Fachberichte. Bd. 220) S. 89-98.

Pre01

PREHOFER, C.: *Objektorientierung. Folien zur Vorlesung im SS01.* o.O. 2001.

Rhe93

RHEINLAND-PFALZ: *Lehrplanentwurf Informatik. Grundfach in der Oberstufe des Gymnasiums (Mainzer Studienstufe).* Worms am Rhein (Heinrich Fischer Rheinische Druckerei GmbH) 1993.

Saa01

SAARLAND: *Lehrplan Erweiterte Realschule, Klassenstufe 9*. Dillingen (Saar) (Krüger Druck und Verlag) 2001. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SI/Lp-09.pdf>.

Saa92

SAARLAND: *Lehrplan Informatik, Gymnasium, Gesamtschule, Klassenstufe 11. Nicht-offizielle Version von Arno Schwarz*. Dillingen (Saar) (Krüger Druck und Verlag) 1992. <http://www.zum.de/Faecher/Inf/Saar/lp/lp1.htm>.

Sac92

SACHSEN: *Lehrplan Mittelschule Informatik. Klassen 7 - 10*. Dresden (Sächsisches Druck- und Verlagshaus) 1992.

Sac92a

SACHSEN: *Lehrplan Gymnasium, Informatik, Klassen 7, 11, 12*. Dresden (Sächsisches Druck- und Verlagshaus) 1992. http://ddi.cs.uni-potsdam.de/0x8d593037_0x000296cb.

Schef99

SCHEFE, Peter: *Softwaretechnik und Erkenntnistheorie*. In: *Informatik Spektrum*, 22. Jg. (1999), S. 122-135.

Schle

SCHLESWIG-HOLSTEIN: *Lehrplan für die Sekundarstufe II. Gymnasium, Gesamtschule, Fachgymnasium*. o.O. u. J. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SII/SHgo.pdf>.

Schub00a

SCHUBERT, Sigrid: *Einführung in die Didaktik der Informatik*. Dortmund, Vorlesungsskript 1999/2000 Als Manuskript gedruckt.

Schub91

SCHUBERT, Siegrid: *Fachdidaktische Fragen der Schulinformatik und (un)mögliche Antworten*. Aus: Gorny, Peter (Hrsg.): *Informatik und Schule 1991 - Informatik: Wege zur Vielfalt beim Lehren und Lernen. GI-Fachtagung*. Berlin Heidelberg (Springer Verlag) 1991. (=Informatik-Fachberichte 292) S. 27-33.

Schul93

SCHULZ-ZANDER, Renate: *Veränderte Sichtweisen für den Informatikunterricht. GI-Empfehlungen für das Fach Informatik in der SII*. Aus: Troitzsch, Klaus G. (Hrsg.): *Informatik als Schlüssel zur Qualifikation. GI-Fachtagung "Informatik und Schule"* Berlin, Heidelberg u.a (Springer Verlag) 1993. (=Informatik aktuell) S. 205-218.

Schwi00

SCHWILL, Andreas; THOMAS, Marco: *Umfrage zu Einstellungskriterien und zur Einstellungssituation von Informatiklehrkräften in der Bundesrepublik Deutschland*. Potsdam 2000. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Informieren/politik/einstellungssituation> - 2002.

Schwi93

SCHWILL, Andreas: *Fundamentale Ideen der Informatik*. In: *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, Jg. 1993, H. 1, S. 20-31.

Schwi94

SCHWILL, Andreas: *Fundamentale Ideen in Mathematik und Informatik*. Aus: Hischer, Horst; Weiß, Michael (Hrsg.): *Fundamentale Ideen. Zur Zielorientierung eines künftigen Mathematikunterrichts unter Berücksichtigung der Informatik*. Hildesheim (Franzbecker) 1994. S. 18-25.

Schwi95

SCHWILL, Andreas: *Programmierstile im Anfangsunterricht*. Aus: Schubert, Sigrid (Hrsg.): *Innovative Konzepte für die Ausbildung. GI-Fachtagung "Informatik und Schule 1995"* Berlin (Springer) 1995. (=Informatik aktuell) S. 178-187.

Sta73

STACHOWIAK, Herbert: *Allgemeine Modelltheorie*. Wien (Springer) 1973.

Sta83a

STACHOWIAK, Herbert: *Erkenntnisstufen zum Systematischen Neopragmatismus und zur Allgemeinen Modelltheorie*. Aus: Stachowiak, Herbert (Hrsg.): *Modelle - Konstruktionen der Wirklichkeit*. München (Wilhelm Fink Verlag) 1983. S. 87-143.

Stau87

STAUFER, Michael: *Piktogramme für Computer. kognitive Verarbeitung, Methoden zur Produktion u. Evaluation*. Berlin (de Gruyter) 1987. (= Mensch-Maschine-Kommunikation)

Stei71

STEINBUCH, Karl: *Automat und Mensch. 4. neubearb. Aufl.* Berlin, Heidelberg (Springer Verlag) 1971. (= Heidelberger Taschenbücher)

Stei77

STEINBUCH, Karl: *Denken in Modellen*. Aus: Schaefer, Gerhard; Trommer, Gerhard (Hrsg.): *Denken in Modellen*. Braunschweig (Westermann) 1977. (=Leitthemen) S. 10-17.

Tar77

TARSKI, Alfred: *Einführung in die mathematische Logik. Moderne Mathematik in elementarer Darstellung*. Göttingen (Vandenhoeck & Ruprecht) o.J.

Tho00

THOMAS, Marco: *Einführung in die Didaktik der Informatik. Vorlesungsskript, WS2000/01*. Potsdam 2001.

Tho01

THOMAS, Marco: *Die Vielfalt der Modelle in der Informatik*. Aus: Keil-Slawik, Reinhard; Magenheimer, Johannes (Hrsg.): *Informatikunterricht und Medienbildung. INFOS 2001 9. GI-Fachtagung Informatik und Schule*. Bonn (Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn) 2001. (=GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings) S. 173-186.

Tho96

THOMAS, Marco: *Computersimulation als Hilfsmittel zur Erkenntnisgewinnung über das Verhalten dynamischer Wirkungsgefüge. Schriftliche Hausarbeit für das Lehramt für die Sekundarstufe II und I* Krefeld 1996.

Tho98

THOMAS, M.: *Modellbildung im Schulfach Informatik*. Aus: Hischer, H. (Hrsg.): *Modellbildung, Computer und Mathematikunterricht Bericht über die 16. Tagung des AK Mathematikunterricht und Informatik* Hildesheim (Franzbecker) 2000. S. 39-46.

Tho99

THOMAS, Marco: *Visuelle Programmiersprachen im Informatikunterricht. Vortrag und Tutorial auf der GI-Fachtagung "Informatik und Schule"*. Potsdam 1999. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/personen/marco/visu/FolienVP3/index.htm>.

Thue01

THÜRINGEN: *Lehrplan für die Regelschule und das Gymnasium. Wahlfach Informatik / Wahlunterricht Informatik. Entwurfsfassung*. Saalfeld (Satz und Druck Centrum Saalfeld) 2001. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Diskussionsforen/RahmenplanInformatik/SI/lp-pdf.pdf>.

Thue99

THÜRINGEN: *Lehrplan für das Gymnasium. Informatik*. Saalfeld 1999.

Une94

UNESCO; IFIP: *Informatics für secondary education. A curriculum for schools*. o.O. 1994. <http://www.ge-dip.etat-ge.ch/ptic/unesco/en/summary.html>.

Vee88

VEER, G. C. van der; FELT, M. A. M.: *Development of mental models of an office system. A field study on an introductory course*. Aus: Veer, van der; Mulder, G. (Hrsg.): *Human-computer interaction: Psychonomic aspects*. Berlin (Springer Verlag) 1988. S. 250-272.

Wed98

WEDEKIND, Hartmut; GÖRZ, Günter; KÖTTER, Rudolf; INHETVEEN, Rüdiger: *Modellierung, Simulation, Visualisierung: Zu aktuellen Aufgaben der Informatik*. In: *Informatik Spektrum*, Jg. 1998, H. 21, S. 262-272.

Wie66

WIENER, Norbert: *Mensch und Menschmaschine - Kybernetik und Gesellschaft*. Frankfurt a. Main 1966.

Wil95

WILKENS, U; NAKE, F.: *Das ästhetische Labor. Ein Beitrag zur informatischen Lehrerbildung*. Aus: Schubert, Sigrid (Hrsg.): *Innovative Konzepte für die Ausbildung. GI-Fachtagung "Informatik und Schule 1995"* Berlin (Springer) 1995. (=Informatik aktuell) S. 327-336.

Wit02

WITTEN, H.: *Informatikunterricht und Allgemeinbildung. AG1 zum 9. Fachdidaktischen Gespräch zur Informatik in Königstein (SS)*. o.O. 2002.

Wues63

WÜSTNECK, Klaus Dieter: *Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs*. In: *deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 11. Jg. (1963), H. 12, S. 1504-1523.

Anhang

A. Skriptnachweis

Praktische Informatik

Angewandte Aspekte der Kryptographie - Prof. J. Blömer - U Paderborn - 2001.pdf
 Grundlagen der Programmierung - C. Herzog - TU München - 2001
 Simulation - Beilner - U Dortmund
 Architektur und Implementierung von Datenbanksystemen - Prof. D. Kossmann - TU Mün.pdf
 Architektur von Verbundsystemen - Prof. H. Wettstein - TH Karlsruhe - 1997.pdf
 Ausgewählte Kapitel der Softwaretechnik - Prof. W. Tichy (Prechelt) - TH Karlsruhe - 1999.pdf
 Autonome Roboter - Hardware - Prof. Marwedel - U Dortmund - 2001.pdf
 Autonome Roboter - Realzeitbetriebssysteme - Prof. Marwedel - U Dortmund - 2001.pdf
 Autonome Roboter - Spezifikationssprachen - Prof. P. Marwedel - U Dortmund 2001.pdf
 Betriebssysteme - Prof. H-U. Heiß - U Paderborn - 1999.pdf
 Betriebssysteme - Prof. P. Spies - TU München - 1998.pdf
 Betriebssysteme - Prof. Schnor - U Potsdam - 2000.pdf
 Bild im Computer - Prof. G. Domik - U Paderborn - 2000.pdf
 Bildverstehen - Prof. B. Radig - TU München - 2001.pdf
 Compiler für eingebettete Systeme - R. Leupers (Marwedel) - U Dortmund - 2000.pdf
 Compilerbau - Prof. E. Plädereder - U Stuttgart - 2000.pdf
 Compilerbau - Prof. M. Sonnenschein (Vogel) - U Oldenburg - 2000.pdf
 Computeranimation - C. Geiger - U Paderborn - 2000.pdf
 Computergrafik - Prof. G. Domik - U Paderborn - 2001.pdf
 Computergrafik - Prof. W. J. Paul - U Saarbrücken - 1994l.pdf
 Datenbankeinsatz - Fachschaft - TH Karlsruhe.pdf
 Datenbankimplementierung - Prof. P. Lockemann - TH Karlsruhe - 2001.pdf
 Datenbanksysteme - Prof. D. Kossmann - TU München -2002.pdf
 Datenbanksysteme - Prof. G. Weikum - U Saarland - 1998.pdf
 Datenbanksysteme - Prof. U. Lipeck - U Hannover - 1995.pdf
 Diskrete Simulation - M. Jobmann - TU München - 2001.pdf
 Einführung in die Softwareentwicklung - Prof. Szwillus - U Paderborn - 2000.pdf
 Gestaltung von Benutzerschnittstellen - Prof. Tauber - U Paderborn - 2001.pdf
 Grid Computing - P. Lucksch - TU München - 2001.PDF
 Implementierungstechniken von Betriebssystemen - Prof. K. Lagally - U Stuttgart - 2001.pdf
 Informatik B - Prof. U. Kastens - U Paderborn - 1998.pdf
 Informatik II - Fachschaft (Prof. Goos) - TH Karlsruhe - 1994.pdf
 Informatik III - systemnahes Programmieren - Prof Mayr (Esparza) - TU München -1995.pdf
 Informatik III - systemnahes Programmieren - Prof. Schlichter - TU München - 2001.pdf
 Informatik IV - Prof. Beth - TH Karlsruhe - 2001.pdf
 Information Retrieval - Prof. N. Fuhr - U Dortmund - 1998.pdf
 Informationssysteme - Fachschaft - U Saarbrücken - 2001.pdf
 Kognitive System - Fachschaft - TH Karlsruhe.pdf
 Komponentenmodelle - Prof. V. Gruhn - U Dortmund - 2001.pdf
 Künstliche Intelligenz - Prof. K. Morik - U Dortmund - 1997.pdf
 Maschinelles Lernen - Prof. Morik - U Dortmund - 2000.pdf
 Maschinensehen - Prof. N. Nagel - TH Karlsruhe - 2001.pdf
 Mobile verteilte Systeme - Prof. U. Baumgarten - TU München - 1996.pdf
 Modellbildung und Simulation ökologischer Systeme - Prof. M. Sonnenschein - U Oldenburg - 2001.pdf
 Modellierung von Benutzungsschnittstellen - Prof. G. Szwillus - U Paderborn - 2001.pdf
 Nichtsequentielle Systeme und nebenläufige Prozesse - A. Kiehn - TU München - 2001.pdf
 Objektorientierte Konzepte - Prof. G. Engels - U Paderborn - 1999.pdf
 Objektorientierung - C. Prehofer - TU München - 2001.pdf
 Paralleles Rechnen - Prof. Schnor - U Potsdam - 2000.pdf
 Programmiersprachen (Notizen) - Prof. H. Ganzinger - U Saarbrücken - 2001.pdf
 Programmierung nebenläufiger Systeme - Prof. M. Sonnenschein - U Oldenburg - .pdf
 Programmierung von Benutzungsschnittstellen - Prof. G. Szwillus - U Paderborn - 2000.pdf

Robotik I - L. Baer (Prof A. Schweikard) - TU München.pdf
 Routing, Scheduling und Datenmanagement in verteilten Systemen - C. Scheideler - U Paderborn - 1999.pdf
 Scientific Computing - Bungartz - TU München.pdf
 Scientific Computing - U. Rüde - TU München.pdf
 Semantik von Programmiersprachen - Prof. Wilhelm - U Saarb - 1999.pdf
 Sicherheit in Rechnernetzen - Prof. B. Pfitzmann - (A. Pfitzmann) - 1996.pdf
 Sicherheit in Rechnersystemen - Prof. H-U. Heiß - U Paderborn - 1999.pdf
 Software Engineering I - Prof. M. Sonnenschein - U Oldenburg - 2000.pdf
 Softwareengineering II - Prof. M. Sonnenschein (J. Sauer) - U Oldenburg - 2000.pdf
 Syntaxanalyse - Prof. Plödereder - U Stuttgart - 1999.pdf
 Systeme und systemnahe Programmierung - Prof. E. Jessen - TU München - 2000.pdf
 Systemnahe Software - Prof. K. Lagally - U Stuttgart.pdf
 Techniken des Softwareentwurfs - Prof. G. Engels - U Paderborn - 2002.pdf
 Telekommunikation und Datenhaltung - Fachschaft - TH Karlsruhe.pdf
 Transaktionsorientierte Informationssysteme (engl) - Prof. G. Weikum - U Saarbrücken - 2000.pdf
 Übersetzer - Prof. U. Kastens - U Paderborn - 1998.pdf
 Übersetzung funktionaler und logischer Programmiersprachen - B. Bauer - TU München - 1999.pdf
 Übersetzung oo-Programmiersprachen - Prof. J. Eickel - TU München.pdf
 Verteilte Systeme - Prof. U-H. Heiß - U Paderborn - 1999.pdf
 Verteilte und parallele Datenbanksysteme - Prof. D. Kossmann - TU München 2000.pdf
 Wissensakquisition, -repräsentation und -applikation - Prof. Möbus - U Oldenburg - 2001 (60MB - kürzbar).pdf
 Wissensbasierte Systeme - Prof. A. Schweikard - TU München - 1999.pdf
 Wissensbasierte Systeme I-IV - Kleine Büning - U Paderborn - 2000.pdf
 Zeitautomaten und andere Modelle für Realzeitsysteme - A. Kiehn - TU München - 2002.pdf

Technische Informatik

Echtzeitsysteme - Prof. H. Wörn - TH Karlsruhe - 2001.pdf
 Entwurf eingebetteter Systeme - Prof. Schmid - TH Karlsruhe - 2002.pdf
 Planung von Rechnernetzen - Prof. E. Jessen - TU München - 1999.pdf
 Rechnernetze und Rechnerkommunikation - Prof. U. Baumgarten - TU München - 1995.pdf
 Schutz und Sicherheit in Rechensystemen - Prof. H. Wettstein - TH Karlsruhe - 1997.pdf
 Technische Informatik I - Prof. T. Ungerer (W. Karl) - TH Karlsruhe - 2001.pdf
 Technische Informatik II - Prof. T. Ungerer (Dillmann)- TH Karlsruhe - 2000.pdf
 Symmetrische Multiprozessorsysteme - R. Wismüller - TU München - 2001.pdf
 Hardware Verifikation - Prof. Schmid - TH Karlsruhe - 2001.pdf
 Logik- und Steuerwerkssynthese - TH Karlsruhe.pdf
 Parallelrechner - Prof E. Jessen - TU München.pdf
 Parallelrechner - Prof. E. Jessen - TU München - 2000.pdf
 Prozessrechner-technik-Eingebettete Systeme - Prof. Marwedel - U Dortmund - 2001.pdf
 Quantencomputer - Prof. J. Blömer - U Paderborn - 2001.pdf
 Rechnerarchitektur - Prof E. Jessen - TU München.pdf
 Rechnerarchitektur - Prof. Marwedel - U Dortmund - 2000.pdf
 Rechnerarchitektur II - Prof. W. J. Paul - U Saarbrücken 1993.pdf
 Rechnergestützter Entwurf-Produktion - Prof. Marwedel - 2001.pdf
 Rechnernetze - Prof. E. Jessen - TU München - 1999.pdf
 Rechnernetze - Prof. Kepler - U Oldenburg (12MB).pdf
 Rechnernetze- Prof E. Jessen - TU München.pdf
 Echtzeitsysteme - Prof. A. Knoll (Schrott) - TU München - 2000.pdf

Theoretische Informatik

Algorithmen in der Zahlentheorie - Prof. J. Blömer - U - Paderborn - 2000.pdf
 Berechenbarkeit - Prof. W. Menzel - TH Karlsruhe - 2000.pdf
 Datenstrukturen und Algorithmen - Prof. Meyer auf der Heide - U Paderborn - 2000.pdf
 Datenstrukturen und Datenorganisation - Prof. R. Bayer - TU München - 2001.pdf
 Effiziente Algorithmen - Prof. Meyer auf der Heide - U Paderborn - 2000.pdf
 Evolutionäre Algorithmen - Prof. V. Claus - U Stuttgart - 2001.pdf
 Formale Sprachen - Prof. B. Monien - U Paderborn - 1999.PDF
 Funktionale Programmierung - Prof. A. Schwill - U Potsdam - 1999 .pdf
 Genetische und evolutionäre Algorithmen - C. Scheideler - U Paderborn - 2000.pdf
 Informatik A - Prof. W. Schäfer - U Paderborn - 1998.pdf
 Informatik III - P. Deussen - TH Karlsruhe - .pdf
 Kommunikation in parallelen Rechenmodellen - Prof. F. Meyer auf der Heide - U Paderborn - 2001.pdf
 Logische Programmierung - Prof. T. Schaub - 2001.pdf

Theoretische Informatik - Prof. A. Schwill - U Potsdam - 2001.pdf
Theoretische Informatik - Prof. Meyer auf der Heide - U Paderborn - 1998.pdf
Theorie der neuronalen Netze - Prof. W. Menzel - TH Karlsruhe - 2001.pdf
Theorie und Spiele - Prof. E. Best - U Oldenburg - 2000.pdf
Unschärfe Mengen - Prof. W. Menzel - TH Karlsruhe - 2000.pdf
Warteschlangen in Rechensystemen - Prof. H. Wettstein - TH Karlsruhe - 1997.pdf
Petri-Netze - Prof. Esparza - TU München.pdf
Algorithmische Codierungstheorie - Prof. J. Blömer - U Paderborn - 2001.pdf
Approximationsalgorithmen - R. Wanke (Meyer auf der Heide) - U Paderborn - 2000.pdf
Automatentheorie und Logik - Prof. E. Best - U Oldenburg - 2000.pdf
Automatisches Beweisen - R. Hähnle (Beckert) - TH Karlsruhe - 2001.pdf
Berechenbarkeit und Entscheidbarkeit - Prof. Esparza (Schöning-Hopcroft) - TU München.pdf
Berechenbarkeit und Formale Sprachen - Prof. J. Blömer - U Paderborn - 2001.pdf
Datenstrukturen und Algorithmen - Prof. R. Seidel - U Saarbrücken - 2000.pdf
Diskrete Strukturen I - Prof. Mayr - TU München - 1997.pdf
Effiziente Algorithmen - Prof. E. Best - U Oldenburg - 2000.pdf
Effiziente Algorithmen - Prof. I. Wegener - U Dortmund.pdf
Effiziente Algorithmen II - P. Rossmanith - TU München - 2001.pdf
Effiziente Algorithmen und Datenstrukturen - M. Stumpf et al - TU München 1998.pdf
Effiziente Algorithmen und Datenstrukturen - Prof. Mayr (Esparza) - TU München.pdf
Einführung in Algorithmen und Komplexität - Prof. J. Blömer - U Paderborn - 2001.pdf
Einführung in Berechenbarkeit und Formale Sprachen - Prof. B. Monien (Meyer auf der Heide) - U Paderborn - 2000.pdf
Einführung in die Fuzzy-Logik - Prof. H. Thiele - U Dortmund.pdf
Formale Systeme - Prof. W. Menzel - TH Karlsruhe - 2001.pdf
Grundlagen der Theoretischen Informatik - Prof. E. Best - U Oldenburg - 1998.pdf
Grundlagen und Methoden funktionaler Programmierung - U Dortmund.pdf
Informatik III - Fachschaft (Prof. Goos) - TH Karlsruhe - 1994.pdf
Informatik III - Prof. H. Prautzsch - TH Karlsruhe - 2000.pdf
Informatik IV - Fachschaft - Prof. Mehlhorn - U Saarbrücken - 1996.pdf
Informatik IV - Prof. Esparza - TU München - 1994.pdf
Informatik IV - W. Brauer (Steger) - TU München - 2001.pdf
Komplexitätstheorie - Prof. E. Best - U Oldenburg - 1999.pdf
Komplexitätstheorie I - Prof. F. Meyer auf der Heide - U Paderborn - 2000.pdf
Komplexitätstheorie II - Prof. F. Meyer auf der Heide - U Paderborn - 2000.pdf
Lineare und kombinatorische Optimierung - Prof. Claus (Schmelzer) - 2001.pdf
Logische Grundlagen der Informatik - Theoretische Informatik I - Prof. Peter H. Starke - HU Berlin.pdf
Logische Systeme der Informatik - Wagner - U Dortmund - 2001.pdf
Optimierung - Prof. R. Seidel - U Saarbrücken - 2000.pdf
Parallele Algorithmen - Prof. B. Monien - U Paderborn 2000.pdf
Parallele Algorithmen - TH Karlsruhe - 2001.pdf
Algorithmen und Komplexität - Fachschaft - U Saarbrücken.pdf
Warteschlangennetze - Beilner - U Dortmund - 2000

B. Übersicht zu den gefundenen Modellbegriffen

